

Reinhold Kerbl, Karl Reiter, Lucas Wessel

Referenz Pädiatrie

Methoden in der Kinderintensiv- und Notfallmedizin

Moritz Tacke, *Florian Hoffmann*, *Boris Barbarics*, *Karl Reiter*

Methoden in der Kinderintensiv- und Notfallmedizin

Kardiopulmonale Reanimation von Kindern und Jugendlichen

Florian Hoffmann

Steckbrief

Der frühzeitige Beginn von Reanimationsmaßnahmen hat enorme Bedeutung für das Outcome eines Kindes nach einem Atem-Kreislauf-Stillstand. Daher nehmen die Basismaßnahmen eine herausragende Stellung in der Versorgung der Kinder ein. Hierzu gehören die Sicherstellung eines freien Atemwegs, effektive Beatmungen mittels Beutel-Maske-Beatmung mit Sauerstoff und hochqualitative Thoraxkompressionen (100–120/min, Drucktiefe ⅓ des anterio-posterioren Thoraxdurchmessers, volle Entlastung des Thorax, Minimierung von Unterbrechungen). Die erweiterten Reanimationsmaßnahmen beinhalten die Gabe von Medikamenten wie Adrenalin, Amiodaron und Volumen, die Herzrhythmusanalyse und Defibrillation. Es sollten immer behandelbare Ursachen („4 Hs“ und „HITS“) identifiziert und behandelt werden.

Aktuelles

Die pädiatrischen Leitlinien des „Paediatric Life Support“ (PLS) des European Resuscitation Councils (ERC) gelten für alle Kinder im Alter von 0 bis 18 Jahren, mit Ausnahme von „Neugeborenen rund um die Geburt“. Patienten, die „erwachsen“ aussehen, können als Erwachsene behandelt werden.

Die 2-Personen-Beutel-Maske-Beatmung mittels Doppel-C-Griff ist die Beatmungsunterstützung der ersten Wahl während der kardiopulmonalen Reanimation für alle professionellen Helfer.

Synonyme

- Herz-Lungen-Wiederbelebung
- Reanimation
- Basic Life Support
- Advanced Life Support

Keywords

- Kardiopulmonale Reanimation
- Paediatric Life Support (PLS)
- Reanimation

Definition

Die kardiopulmonale Reanimation soll im Falle eines Atem- und Kreislaufstillstands die überlebenswichtigen Funktionen sicherstellen mit dem Ziel einer Wiedererlangung eines Spontankreislaufs.

Einordnung der Methode im Vergleich zu weiteren Methoden

Keine Angabe möglich.

Indikationen

Auffinden eines leblosen Kindes ohne Atemanstrengungen und Lebenszeichen.

Aufklärung und spezielle Risiken

Keine Aufklärung notwendig, ggf. Berücksichtigung von Patientenverfügung oder „do not resuscitate“-Situationen.

Personal, Material und Einstelltechnik

- **Basismaßnahmen:**
  - mind. 2 Personen
  - Beatmungsbeutel mit passender Einmal-Beatmungsmaske
  - Sauerstoff
  - Absauger mit großlumigem Katheter
  - ggf. automatischer externer Defibrillator (AED)
- **erweiterte lebensrettende Maßnahmen:**
  - Defibrillator mit selbstklebenden Pads
  - EZ-IO-Bohrmaschine mit roter (15 mm) und blauer (25 mm) Nadel
  - Adrenalin-Fertigspritze (1 mg/10 ml), alternativ Adrenalin-Ampullen 1 mg/ml
  - Amiodaron (150 mg/3 ml)
  - NaCl 0,9 % zum Nachspritzen
  - 500 ml balancierte Vollelektrolytlösung (VEL)
  - Larnyxmasken der Größen 1–5
  - Notfallpläne für Reanimationsmedikamente

Durchführung

Basismaßnahmen (Basic Life Support)

Die ERC-Leitlinien 2021 empfehlen den Ablauf der Reanimation nach dem bekannten ABC-Schema (Abb. 24.1). Eine deutsche Übersetzung der gesamten Leitliniendokumente wurde in der Zeitschrift Notfall- und Rettungsmedizin publiziert [2].

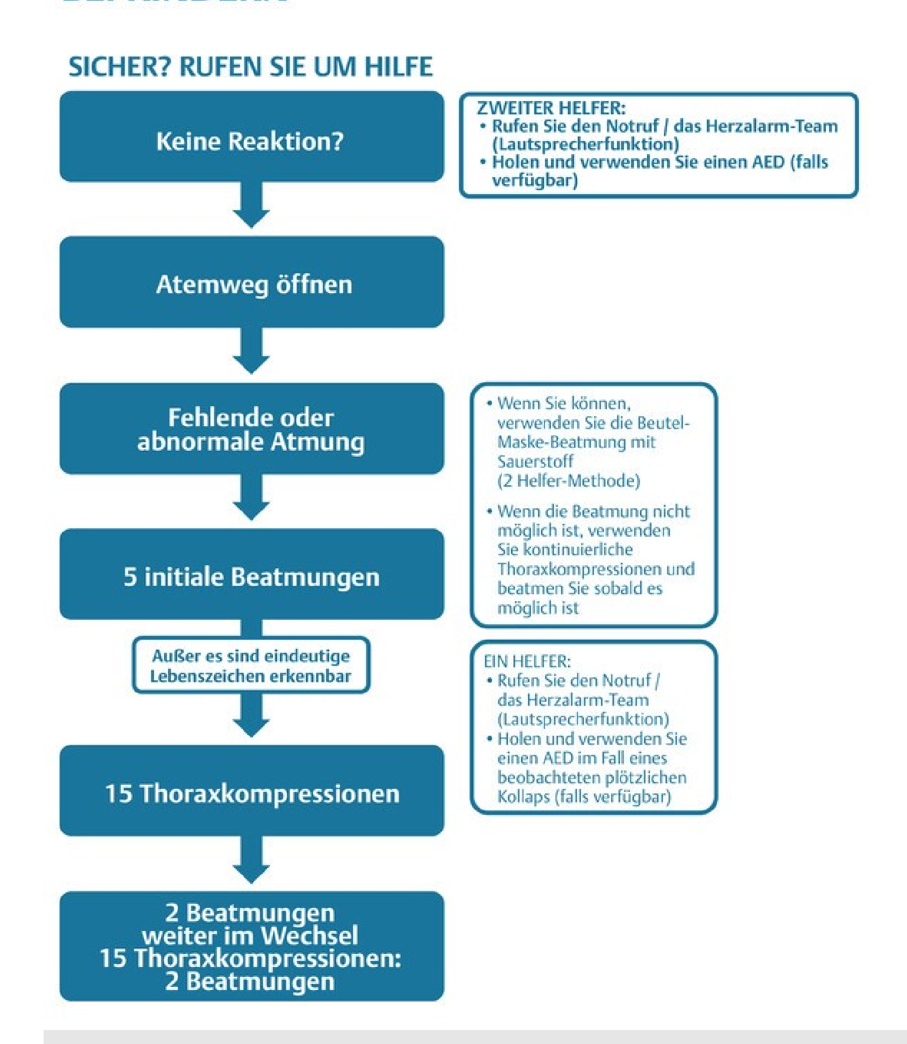


Abb. 24.1 Basismaßnahmen der kardiopulmonalen Reanimation nach ERC-Leitlinien 2021.

(www.grc-org.de)

(Stand 26.10.2023)

(Quelle: © German Resuscitation Council (GRC) und Austrian Resuscitation Council (ARC) 2021)

(Quelle: © German Resuscitation Council (GRC) und Austrian Resuscitation Council (ARC) 2021)

A = Atemweg (Airway)

- Das Kind sollte nach Feststellen der Bewusstlosigkeit vorsichtig auf den Rücken gedreht werden. Anschließend wird sichergestellt, dass der Atemweg frei ist, und bei Bedarf werden die Atemwege geöffnet und die Atmung für max. 10 Sekunden beurteilt.

> **Cave**
>
> In den ersten Minuten nach einem Kreislaufstillstand kann das Kind langsame, einzelne Atemzüge (Schnappatmung) zeigen, welche nicht als suffiziente Atmung eingeschätzt werden dürfen und eine sofortige Initiierung von Wiederbelebungsmaßnahmen erfordern.

- Zum Freimachen der Atemwege sollte mit den unter der Kinnspitze platzierten Fingerspitzen einer Hand vorsichtig das Kinn angehoben und der Kopf leicht überstreckt werden („Schnüffelstellung“ mit leichter Überstreckung bei Säuglingen, danach: je älter, desto mehr Überstreckung), bei Schwierigkeiten kann mittels Zeige- und Mittelfinger beidseits der Unterkiefer im Kiefergelenk nach vorne geschoben werden (Esmarch-Handgriff).
- Während die Atemwege offengehalten werden, wird innerhalb von max. 10 Sekunden festgestellt, ob Spontanatmung besteht. Sicherstes Zeichen ist hierfür eine sichtbare Hebung des Thorax.
- Kann innerhalb der 10-Sekunden-Frist nicht sicher festgestellt werden, ob eine ausreichende Spontanatmung besteht, wird mit der Beatmung begonnen.
- Atmet das Kind und ist bewusstlos, muss es in die stabile Seitenlagerung gebracht werden und regelmäßig reevaluiert werden.

B = Beatmung (Breathing)

- Bei fehlender Spontanatmung oder Schnappatmung sollen 5 initiale Beatmungshübe

mittels Beutel-Maske-Beatmung und Sauerstoff mit einer Inspirationsdauer von je 1 Sekunde verabreicht werden.

- Sobald möglich, sollte die 2-Personen-Beutel-Maske-Beatmung mittels Doppel-C-Griff zur Anwendung kommen.
- Bei Schwierigkeiten mit der Beutel-Maske-Beatmung ggf. Einlage eines Guedel-Tubus erwägen (richtige Größe = Länge Zahnreihe bis Kieferwinkel) → verhindert das Zurückfallen der Zunge.
- Zeigen sich unter Beutel-Maske-Beatmung keine sicheren Lebenszeichen (Anzeichen einer vorhandenen Kreislauffunktion, wie Bewegungen, Husten, o.ä.), sollen sofort 15 Thoraxkompressionen verabreicht werden.
- Thoraxkompressionen sollen dann sofort begonnen werden, wenn ein Beatmungsbeutel und die passende Maske nicht direkt griffbereit sind und erst aus dem Notfall-Equipment zur Verfügung gestellt werden müssen. Es soll dann mit den Beatmungen begonnen werden, sobald diese durchgeführt werden können (CAB-Schema; C = Kreislauf [Circulation], A = Atemweg [Airway], B = Beatmung [Breathing]).

> **Cave**
>
> Anwendung des CAB-Schemas mit sofortigem Beginn der Thoraxkompressionen, wenn Beatmungsbeutel nicht direkt verfügbar!

C = Kreislauf (Circulation)

- kein Tasten eines Pulses notwendig, Beurteilung von Lebenszeichen ausreichend
- Qualität der Thoraxkompressionen definieren Outcome
- Frequenz: 100–120/min für Säuglinge und Kinder
- Tiefe: untere Hälfte des Sternums um mindestens ⅓ des anterior-posterioren Durchmessers des Thorax. Die Kompressionen sollen niemals tiefer sein als die 6-cm-Grenze für Erwachsene (ca. Daumenlänge für Erwachsene).
- im 1. Lebensjahr: wenn möglich thoraxumgreifende Technik mit überlappend positionierten Daumen auf der unteren Sternumhälfte, ansonsten Zwei-Finger-Methode, ggf. modifizierte vertikale Zwei-Daumen-Technik, wenn Standardmethoden zu ermüdend oder zu schwierig durchzuführen
- > 1. Lebensjahr: je nach Größe und Handfläche des Helfers entweder eine Einhand- oder eine Zweihandtechnik
- Position des Armes im 90°-Winkel zum Thorax und Verwendung eines Tritthockers, um Thoraxkompressionstiefe zu optimieren
- vollständige Entlastung des Thorax zwischen den Kompressionen
- Minimierung der Unterbrechungen
- auf harte Unterlage achten (Verwendung Reanimationsbrett, reanimationspflichtiges Kind nicht aus Bett auf Boden umlagern)
- nach 15 Kompressionen folgen dann je 2 Beatmungen (15:2-Reanimationszyklus)
- Unterbrechung der CPR nur, wenn eindeutige Lebenszeichen (Anzeichen auf ein Wiedererlangen des Kreislaufs, Bewegung, Husten, o.ä.)
- Bei zwei oder mehr Helfern soll die Person, die Thoraxkompressionen durchführt, regelmäßig (spätestens nach 2 Minuten) gewechselt werden.

Erweiterte Maßnahmen (Advanced Life Support)

Obwohl die Abfolge der Aktionen der erweiterten Reanimationsmaßnahmen schrittweise dargestellt wird, handelt es sich um Teamarbeit, bei der mehrere Interventionen parallel durchgeführt werden (Abb. 24.2). Wichtig ist die hochqualitative und lückenlose Fortführung der oben genannten Basismaßnahmen.

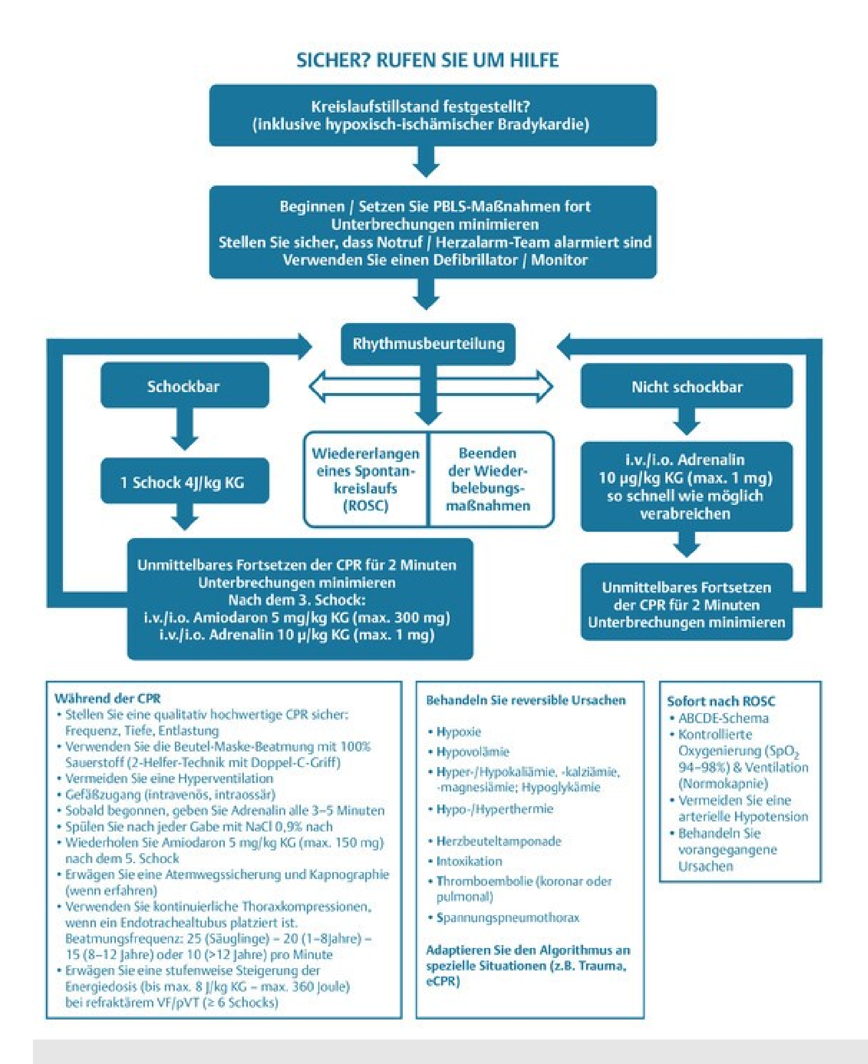


Abb. 24.2 Erweiterte lebensrettende Maßnahmen der kardiopulmonalen Reanimation nach ERC-Leitlinien 2021.

(www.grc-org.de)

(Stand: 26.10.2023)

(Quelle: © German Resuscitation Council [GRC] und Austrian Resuscitation Council [ARC] 2021)

(Quelle: © German Resuscitation Council [GRC] und Austrian Resuscitation Council [ARC] 2021)

Herzrhythmusanalyse

Es soll schnellstmöglich eine Herzrhythmusanalyse über die EKG-Elektroden oder selbstklebende Defibrillator-Pads erfolgen.

Unterscheidung in:

- nicht schockbare Rhythmen: Asystolie/pulslose elektrischer Aktivität)
- schockbare Rhythmen: Kammerflimmern/pulslose ventrikuläre Tachykardie

Asystolie/pulslose elektrische Aktivität

- Asystolie = häufigster finaler Rhythmus bei Kindern
- schnellstmögliche Verabreichung von Adrenalin i.v. oder intraossär (i.o.) in einer Dosierung von 0,01 mg/kg (=0,1 ml/kg einer 1:10000 Lösung) mit ausreichendem Nachspülen von 5–10 ml NaCl 0,9 % und 2 Minuten Fortführung der Basismaßnahmen
- Verwendung von Fertigspritzen mit verdünnter gebrauchsfertiger Adrenalinlösung empfohlen
- Wiederholung der Adrenalingabe alle 3–5 Minuten (nach jeder 2. Reevaluation, die jeweils nach 2 Minuten erfolgen sollte)
- intraossärer Zugang mittels EZ-IO-Bohrmaschine als primärer Gefäßzugang, wenn Erfolgsaussichten auf intravenösen Zugang gering
- wenn Unsicherheiten bezüglich schockbar oder nicht schockbar bestehen (z.B. Asystolie vs. Kammerflimmern mit niedriger Amplitude): schockbaren Algorithmus wählen

Kammerflimmern/pulslose ventrikuläre Tachykardie

- bei Kindern deutlich seltener, zeigt aber mit zunehmendem Alter eine zunehmende Inzidenz

- schnellstmögliche Defibrillation mit 4 J/kg KG
- keine Energiedosen verwenden, die über den für Erwachsene empfohlenen liegen (120–200 J, abhängig vom Defibrillatortyp)
- Anbringung der Pads bevorzugt antero-posterior (AP) oder alternativ antero-lateral (AL)
- Thoraxkompressionen und Beatmung bis nach dem Laden des Defibrillators fortsetzen, nur für Schockabgabe unterbrechen (Ziel: < 5 s)
- sofortige Fortsetzung der Basismaßnahmen für 2 Minuten, bevor erneut der Rhythmus reevaluiert wird
- Überprüfung des Herzrhythmus alle 2 Minuten (nach dem letzten Schock) und Abgabe eines weiteren Schocks (4 J/kg KG), solange der schockbare Rhythmus persistiert
- nach dem 3. und 5. Schock Verabreichung von Adrenalin (0,01 mg/kg KG, max. 1 mg) und Amiodaron (5 mg/kg KG, max. 300 mg nach 3. Schock, max. 150 mg nach 5. Schock) intravenös oder intraossär als Bolus
- Lidocain i.v. (1 mg/kg KG) kann von Helfern, die Erfahrung in der Anwendung haben, als Alternative zu Amiodaron angewendet werden.
- Nach dem 5. Schock soll die Adrenalingabe alle 3–5 Minuten wiederholt werden.
- Bei refraktärem VF (ventrikuläre Fibrillation)/pVT (> 5 Schockabgaben erforderlich; pVT = pulslose ventrikuläre Tachykardie) kann die Energiedosis schrittweise bis auf 8 J/kg KG (max. 360 J) erhöht werden.

Praxistipp

- Adrenalin 0,01 mg/kg KG = 0,1 ml/kg KG der 1:10000-Lösung (1 ml = 1 mg + 9 ml NaCl 0,9 %)
- Amiodaron 5 mg/kg KG = 0,1 ml/kg KG der puren Injektionslösung (50 mg/ml)

Gefäßzugang

Merke

Bei fehlender Erfolgsaussicht auf einen peripheren Venenzugang → rasche Entscheidung zum Legen eines intraossären Zugangs.

- Standardtechnik beim Legen des i.o.-Zugangs ist die EZ-IO-Bohrmaschine, da die Anlage eines i.o.-Zugangs hiermit deutlich schneller und mit höherer Erfolgsrate gelingt.
- häufigster Punktionsort: proximale Tibia unterhalb und medial der Tuberositas tibiae
- alternative Punktionsstellen: distale Tibia über Malleolus medialis, proximaler Humerus, distaler Femur
- nach jeder Medikamentengabe Bolus NaCl 0,9 % applizieren, um den Abstrom in den Knochenmarkvenen zu beschleunigen und so eine raschere Verteilung in der zentralen Zirkulation zu erreichen
- größere Flüssigkeitsmengen sollten manuell injiziert werden (z.B. über Dreiwegehahn und 50-ml-Perfusorspritze)
- **keine** Applikation von Lokalanästhetika (z.B. Lidocain) notwendig

Erweitertes Atemwegsmanagement

- Grundsätzlich stellt die Beutel-Masken-Beatmung – wenn sich der Thorax gut sichtbar hebt und senkt – die sicherste Methode zur Ventilation und Oxygenierung des Patienten dar.
- Während einer Reanimation sollte eine Beatmung mit der maximal hohen inspiratorischen Sauerstoffkonzentration (z.B. 100 %) erfolgen.
- Eine akzeptierte Alternative zur Maskenbeatmung stellt die Anwendung der Larynxmaske durch geübte Anwender dar. Gerade bei supraglottischen Fehlbildungen oder bei nicht möglicher Beutel-Maske-Beatmung kann diese Beatmungsform hilfreich sein.
- Den sichersten Atemweg stellt die orotracheale Intubation dar; diese soll aber nur von einem Experten mit großer Erfahrung durchgeführt werden.

- Die Überprüfung der richtigen Tubuslage soll durch eine Messung des endtidalen CO_2 erfolgen.

> **Cave**
>
> Bei maximal reduziertem pulmonalem Blutfluss ist ggf. trotz richtiger Tubuslage kein CO_2 messbar.

- Eine Hyperventilation (aufgrund übermäßiger Frequenz und/oder hohem VT) soll dringend vermieden werden. Jedoch ist darauf zu achten, dass die Inflation der Lunge bei Thoraxkompressionen ausreichend ist. Das Tidalvolumen (VT) kann anhand der Thoraxhebung abgeschätzt werden.
- Bei Beatmung mittels Endotrachealtubus können die Beatmungen asynchron und die Thoraxkompressionen kontinuierlich erfolgen (nur alle 2 Minuten zur Rhythmusüberprüfung pausieren). In diesem Fall sollen sich die Beatmungen an der unteren Grenze der normalen altersspezifischen Atemfrequenz orientieren: 25/min (Säuglinge), 20/min (> 1 Jahr), 15/min (> 8 Jahre), 10/min (> 12 Jahre).

Reversible Ursachen für frustrane Reanimationsbemühungen

- Die frühzeitige Erkennung und ordnungsgemäße Behandlung einer reversiblen Ursache während der CPR hat oberste Priorität.
- Merkhilfe „4 Hs“
  - Hypoxie
  - Hypovolämie
  - Hypo- oder Hyperkaliämie/-kalzämie/-magnesiämie, Hypoglykämie
  - Hypo- oder Hyperthermie
- Merkhilfe „HITS“:
  - Herzbeuteltamponade
  - Intoxikation
  - Thromboembolien
  - Spannungspneumothorax
- Ursachen und jeweilige Therapie der reversiblen Ursachen Tab. 24.1.

Tab. 24.1 Reversible Ursachen für einen Kreislaufstillstand und ihre therapeutischen Möglichkeiten.

Ursache	Therapie
4 H's	
Hypoxie	• Thoraxhebung? • Guedel-Tubus • 2-Personen-Technik (Doppel-C-Griff) • max. O_2-Zufuhr? • frühzeitig Larynxmaske • Tubus disloziert?
Hypovolämie	Volumenbolus (balancierte Vollelektrolytlösung, Ringer-Acetat) 10–20 ml/kg KG i.v./i.o. über 50-ml-Perfusorspritze aus der Hand, ggf. mehrfach wiederholen
Hyper-/**H**ypokaliämie	• Hinweise für Niereninsuffizienz? Medikamente? • wenn nicht sicher auszuschließen → wie Hyperkaliämie behandeln: – Calcium-Glukonat 10 % 0,25–0,5 ml/kg KG i.v./i.o. – Natriumbikarbonat 8,4 % 2 mmol/kg KG 1:1 mit Aqua i.v. – Insulin/Glukose: 4 IE Insulin ad 50 ml Glukose 50 % → 2 ml/kg KG als Bolus (BZ-Kontrolle)

CVVH = kontinuierliche venovenöse Hämofiltration, ECMO = extrakorporale Membranoxygenierung, ICR = Interkostalraum, ZVK = Zentralvenenkatheter.

Ursache	Therapie
	vital bedrohliche hypokaliämiebedingte Rhythmusstörung: 0,25–1 mmol/kg KCl über wenige Minuten i.v. unter laufendem EKG
Hypothermie	externe Erwärmung über Heizung, Rettungsdecke, nasse Kleidung entfernen ggf. invasive Techniken wie Peritonealdialyse, CVVH oder ECMO erwägen
HITS	
Herzbeuteltamponade	ggf. Echokardiografie (Z.n. Thoraxtrauma? Infusoperikard bei ZVK? Perikarderguss?) Punktion subxiphoidal 45° in Richtung linke Schulter (wenn möglich unter Echo-Kontrolle) Punktion mit Pigtail in Seldinger-Technik oder mit langer aufgesetzter Kanüle
Intoxikation	Anamnese Rücksprache Giftnotruf 19240
Thrombembolie	Anamnese (Immobilisation, Einnahme Pille, post-OP, tiefe Beinvenenthrombose etc.), Cave: auch bei Früh- und Neugeborenen daran denken! Lyse mit rtPA 0,6 mg/kg KG i.v. als Bolus
Spannungspneumothorax	seitendifferentes Atemgeräusch, hämodynamisch instabil, Auftreten v.a. unter Beatmung Nadeldekompression (z.B. grauer Abbocath) 4. ICR vordere bis mittlere Axillarlinie

CVVH = kontinuierliche venovenöse Hämofiltration, ECMO = extrakorporale Membranoxygenierung, ICR = Interkostalraum, ZVK = Zentralvenenkatheter.

Sonstige Maßnahmen

Postreanimationsbehandlung beginnt mit Wiedererlangen des Spontankreislaufs

- Normoxämie mit Ziel-SpO_2 von 94–98 % (Ausnahmen: Rauchgasintoxikation, schwere Anämie)
- Normokapnie (zur Vermeidung einer Hyperventilation sollte als Orientierungshilfe für ein adäquates Atemzugvolumen auf eine mäßige Thoraxhebung geachtet werden)
- Vermeiden einer arteriellen Hypotension
- Vermeiden von Fieber < 37,5 °C
- Normoglykämie (eine strenge Glukosekontrolle kann aufgrund des Risikos einer versehentlichen Hypoglykämie schädlich sein)

Anwesenheit von Eltern

Eine Anwesenheit von Eltern bei Reanimationssituationen sollte erwogen werden. Wenn möglich, sollte sich bei Anwesenheit der Eltern eine Person um die Betreuung der Eltern kümmern.

Nachbesprechungen (Debriefing)

Im Anschluss an eine Reanimationssituation sollte mit allen Teammitgliedern ein kurzes Debriefing erfolgen. Es ist zu empfehlen, diese am selben Tag im Anschluss an die jeweilige Situation z.B. nach dem Schichtwechsel der Pflege anzusetzen und zeitlich auf 15–20 Minuten zu begrenzen.

Training und Vorbereitung

Jede Person, die potenziell mit kritisch kranken Kindern in Kontakt kommen kann, soll regelmäßig 1× pro Jahr in Basismaßnahmen der lebensrettenden Maßnahmen geschult werden. Um im Notfall den ERC-Algorithmus abarbeiten zu können, sollte dieser als Poster und Kitteltaschenkarten vorgehalten werden.

Praxistipp

Eine Verwendung von Postern mit dem Reanimationsalgorithmus und Notfallkarten für die gewichtsadaptierte Dosierung von Adrenalin und Amiodaron können Fehldosierungen minimieren und die Basismaßnahmen optimieren.

Mögliche Komplikationen

Bei Adoleszenten ggf. Rippenfrakturen durch Thoraxkompressionen, bei kleineren Kindern zumeist aufgrund von Elastizität des Thorax keine Gefahr von Rippenfrakturen.

Dokumentation

Erstellung eines Reanimationsprotokolls obligat, ggf. können Zeitangaben der Defibrillationen oder Rhythmusveränderungen aus dem Defibrillator ausgelesen werden. Es sollte eine Person bestimmt werden, die ausschließlich die Dokumentation übernimmt.

Ergebnisse

Wiedererlangen eines Spontankreislaufs (Return of Spontaneous Circulation, ROSC) bei außerklinischem Stillstand in 25–30 % der Fälle, Überleben 2–11,1 %, gutes neurologisches Outcome 2,2–12 %.

ROSC bei innerklinischem Atem-Kreislaufstillstand deutlich höher mit bis zu 65 % der Fälle, gutes neurologisches Outcome in 19–39 %.

Literatur

Literatur zur weiteren Vertiefung

- [1] Van de Voorde P, Turner NM, Djakow J et al. European Resuscitation Council Guidelines 2021: Paediatric Life Support. Resuscitation 2021; 161: 327–387
- [2] Van de Voorde P, Turner NM, Djakow J et al. Lebensrettende Maßnahmen bei Kindern (Paediatric Life Support, PLS). Notf Rett Med 2021; 24 (4): 650–719

Wichtige Internetadressen

German Resuscitation Council, Deutscher Rat für Wiederbelebung: https://www.grc-org.de/ (Stand: 26.10.2023)

Hirntoddiagnostik

Boris Barbarics, Karl Reiter

Steckbrief

Ein irreversibler Hirnfunktionsausfall oder Hirntod liegt vor, wenn die Gesamtfunktion des Großhirns, des Kleinhirns und des Hirnstamms irreversibel erloschen ist. Die Herz-Kreislauf-Funktion kann durch kontrollierte Beatmung und weitere intensivmedizinische Maßnahmen aufrechterhalten werden. Der Hirntod wird dementsprechend als Tod des Menschen nach neurologischen Kriterien bei intensivmedizinischen Patienten angesehen. Die Diagnosestellung eines Hirntodes muss von qualifizierten Ärzten unter Einhaltung der Kriterien und Verfahrensregeln der Bundesärztekammer durchgeführt werden. Bei entsprechendem Einverständnis kann dann eine postmortale Organspende erfolgen.

Synonyme

- irreversibler Hirnfunktionsausfall
- Tod nach neurologischen Kriterien

Keywords

- irreversibler Hirnfunktionsausfall
- Tod nach neurologischen Kriterien
- schwere Hirnschädigung
- Apnoetest

Definition

Die Hirntoddiagnostik stellt nach den Richtlinien der Bundesärztekammer den irreversiblen Hirnfunktionsausfall fest. Dieser liegt vor, wenn die Gesamtfunktion des Großhirns, des Kleinhirns und des Hirnstamms irreversibel erloschen ist, die Herz-Kreislauf-Funktion aber durch kontrollierte Beatmung und weitere Maßnahmen noch aufrechtzuerhalten ist. Zur Diagnosestellung sind das Vorliegen eines adäquaten auslösenden Ereignisses, klinische Untersuchungszeichen und je nach Konstellation apparative Untersuchungen in einem definierten zeitlichen Ablauf erforderlich.

Einordnung der Methode im Vergleich zu weiteren Methoden

Die Vorgehensweise zur Hirntodfeststellung ist durch Richtlinien der Bundesärztekammer vorgegeben.

Die Hirntoddiagnostik ist eine wesentliche ärztliche Aufgabe. In der Intensivmedizin stellt sich häufig auch unabhängig von einer Organspende die Frage, ob der irreversible Hirnfunktionsausfall und somit der Tod eingetreten sind. Die genauen Kriterien und Verfahren können von Land zu Land und an medizinischen Einrichtungen variieren und müssen sich an etablierten Protokollen und Richtlinien orientieren, so dass der irreversible Hirnfunktionsausfall sicher und unzweifelhaft diagnostiziert werden kann. In Deutschland werden die Richtlinien durch die Bundesärztekammer unter der Mitarbeit mehrerer Institutionen und Sachverständigen herausgegeben. Die aktuelle und Fünfte Fortschreibung der Richtlinie wurde 2022 veröffentlicht.

Aktualisierungsbedarf bestand bei der Diagnostik unter extrakorporaler Membranoxygenierung (ECMO) und/oder extrakorporalen Unterstützungssystemen (ECLS), den Anforderungen an ärztliche Qualifikation und der Verwendung digitaler EEG-Geräte. Es wurden redaktionelle Anpassungen der Protokollbögen vorgenommen.

Es gibt verschiedene Methoden zur Diagnose des Hirntods, darunter klinische, radiologische und elektroenzephalografische (EEG) Methoden. Die Klassifizierung dieser Methoden kann je nach Land und medizinischer Einrichtung variieren, aber im Allgemeinen können sie wie folgt kategorisiert werden:

- **Klinische Methoden:** Dies sind die am häufigsten verwendeten Methoden zur Diagnose des Hirntods. Sie umfassen die Beurteilung der neurologischen Funktionen des Patienten, wie Pupillenreflexe, Augenbewegungen und Reaktionen auf Schmerzen. Wenn diese Tests darauf hindeuten, dass der Patient keine neurologischen Funktionen hat, kann der Hirntod mittels weiterer Untersuchungen diagnostiziert werden.
- **Radiologische Methoden:** Bei diesen Methoden werden bildgebende Verfahren wie die Computertomografie-Angiografie (CTA) und die Magnetresonanztomografie (MRT) sowie die Doppler-/Duplexuntersuchung eingesetzt, um den Blutfluss und die Stoffwechselaktivität im Gehirn festzustellen. Im Falle des Hirntods zeigen diese Untersuchungen keine Aktivität des Gehirns.
- **Elektroenzephalografische Methoden (EEG):** Bei diesen Methoden wird die elektrische Aktivität des Gehirns mit Hilfe von Elektroden gemessen, die auf der Kopfhaut angebracht werden. Beim Hirntod ist keine elektrische Aktivität mehr feststellbar.

Die Wahl der Methode zur Diagnose des Hirntods kann von der Verfügbarkeit von Ressourcen, dem Fachwissen des medizinischen Teams und den individuellen Umständen des Patienten abhängen. Klinische Methoden werden häufig als Goldstandard für die Diagnose des Hirntods angesehen, da sie eine umfassende Beurteilung der neurologischen Funktion ermöglichen.

Indikationen

Die Feststellung des Hirntods kann ein wichtiges Kriterium zur Therapieeinstellung sein. Sie ist eine obligate Voraussetzung für die Entnahme von Spenderorganen.

Kontraindikationen

Bei Frühgeborenen (unter 37 Schwangerschaftswochen postmenstruell) und bei Anenzephalie ist das der Richtlinie zugrunde liegende Konzept der Feststellung des irreversiblen Hirnfunktionsausfalls nicht anwendbar.

Aufklärung und spezielle Risiken

Bei allen Patienten mit naheliegendem Hirntod sollte frühzeitig mit den Sorgeberechtigten über die Möglichkeit einer postmortalen Organspende gesprochen werden. Die Diagnostik kann je nach vorliegender Schädigung und Alter des Kindes einige Tage in Anspruch nehmen.

Risiken bestehen bei korrekter Durchführung nicht.

Personal, Material und Einstelltechnik

Es sind mindestens zwei dafür qualifizierte und unabhängige Ärztinnen oder Ärzte zur Feststellung und Dokumentation notwendig. Neben der Facharztanerkennung ist eine mehrjährige Erfahrung in der Intensivbehandlung von Patientinnen und Patienten mit akuten schweren Hirnschädigungen notwendig. Eine weitere Voraussetzung ist, dass mindestens einer der beteiligten Ärztinnen und Ärzte Facharzt bzw. Fachärztin für Neurologie oder Neurochirurgie ist bzw. bei Kindern unter dem 14. Lebensjahr Facharzt bzw. Fachärztin für Kinder- und Jugendmedizin oder Facharzt bzw. Fachärztin für Kinder- und Jugendchirurgie. Die Interpretation und Bewertung gemessener Serum- oder Plasmaspiegel kann auch gemeinsam mit Fachärztinnen oder Fachärzten mit der Zusatz-Weiterbildung Intensivmedizin vorgenommen werden.

Übernimmt diese Funktion ein Facharzt oder Fachärztin für Kinder- und Jugendmedizin mit dem Schwerpunkt Neuropädiatrie, muss der zweite untersuchende Arzt kein Facharzt bzw. Fachärztin für Neurologie oder Neurochirurgie sein.

Bei einer geplanten Organ- oder Gewebespende dürfen die beteiligten Ärztinnen oder Ärzte weder an der Entnahme noch an der Übertragung der Organe oder Gewebe des Spenders beteiligt sein. Sie dürfen auch nicht Weisungen eines Arztes unterstehen, der an diesen Maßnahmen beteiligt ist.

Für den Irreversibilitätsnachweis mittels ergänzender Untersuchung genügt deren einmalige Durchführung (außer bei Kindern bis zum vollendeten zweiten Lebensjahr).

Durchführung

Diagnosekriterien

- Einhaltung der Voraussetzungen
- klinische Symptome: Koma, Hirnstammareflexie, Atemstillstand
- Nachweis der Irreversibilität des Hirnfunktionsverlustes

Voraussetzungen

- schwere Hirnschädigung: primär (z.B. Hirnverletzung) oder sekundär (z.B. Hypoxie)
- Ausschluss von:
  - Intoxikation
  - neuromuskulärer Blockade
  - Unterkühlung < 35 °C (wichtig beim Ertrinkungsunfall!)
  - Kreislaufschock
  - endokrinem oder metabolischem Koma
- Zwei Untersucher (mind. einer muss Neurologe bzw. Neuropädiater sein) müssen die Hirntodsymptome übereinstimmend feststellen und dokumentieren.
- Bei Gabe von Neuropsychopharmaka muss entweder a) der Abfall des Serumspiegels unterhalb des therapeutischen Bereichs (z.B. Phenobarbital) oder b) der zerebrale Zirkulationsstillstand nachgewiesen sein.

Klinische Ausfallsymptome

- Koma
- Hirnstammareflexie: Pupillen lichtstarr und weit, ausgefallener okulozephaler Reflex, Kornealreflex, keine Reaktion auf Schmerzreize im Bereich des N. trigeminus, fehlender Pharyngeal- und Trachealreflex
- Ausfall der Spontanatmung: Nachweis durch Apnoetest: Nach einer Beatmung mit 100 % Sauerstoff wird das Ventilationsvolumen so lange reduziert, bis der $paCO_2$-Wert

mindestens 60 mmHg (individuelle Modifikation bei chronischer Hyperkapnie) erreicht. Anschließend erfolgt unter Sauerstoffinsufflation die Diskonnektion des Tubus. Werden nach „angemessener Frist“ keine Atemzüge beobachtet, ist der Ausfall der Spontanatmung erwiesen.

Spezielle Situation: ECMO

Bei extrakorporaler Oxygenierung und/oder Kreislaufunterstützung (z.B. veno-venöse, veno-arterielle, venovenös-arterielle ECMO) muss der zentrale Atemstillstand ebenfalls durch den Nachweis des Fehlens von Eigenatmung bei einem $paCO_2$ von mindestens 60 mmHg (entspricht 8 kPa, Temperatur-korrigierte Messung) belegt werden. Die Einstellung eines $paCO_2$ von mindestens 60 mmHg ist auch bei Patienten an ECMO möglich, kann jedoch – im Vergleich zum ausschließlich mechanisch beatmeten Patienten – technische Besonderheiten aufweisen, insbesondere auch unter Berücksichtigung der Möglichkeit regional unterschiedlicher Blutgasverhältnisse bei vaECMO.

Der irreversible Hirnfunktionsausfall kann bei Patienten ab Beginn des dritten Lebensjahres bei primären supratentoriellen und bei sekundären Hirnschädigungen auf jeder Intensivstation auch ohne ergänzende apparative Diagnostik festgestellt werden.

Ergänzende Untersuchung

- EEG (nach Richtlinien der Deutschen Gesellschaft für klinische Neurophysiologie [DGKN]):
  - Nachweis eines Nulllinien-EEG (mind. 30 Minuten ableiten mit mindestens 8 Kanälen und maximaler Verstärkung [2 µV/mm])
  - zusätzlich immer EKG-Ableitung
- zerebraler Zirkulationsstillstand (**cave:** Diese Untersuchung kann bei Kindern < 6 Monaten nicht angewandt werden!):
  - Dopplersonografie (intrakraniell Aa. cerebri mediae + Aa. carotides internae, extrakraniell Aa. carotides internae + Aa. vertebrales) ≥ 2× in 30-Minuten-Abstand biphasische, oszillierende Strömungen mit gleich ausgeprägter antero- und retrograder Komponente oder kleine frühsystolische Strömung < 50 cm/s ohne weitere systolische oder diastolische Signale. **Hinweis:** Dieser Befund findet nur dann Berücksichtigung, wenn derselbe Untersucher vorher eindeutige Signale einer Perfusion dokumentiert hat.
  - alternativ zerebrale Perfusionsszintigrafie: keine Aktivität intrakraniell, bei normaler extrakranieller Aktivität (bei Nachweis eines zerebralen Zirkulationsstillstandes entfallen die Wartezeiten des zweiten Nulllinien-EEGs)
- evozierte Potenziale: SEP oder FAEP. Das Fehlen von frühen akustisch evozierten Potenzialen (FAEP) wird bei Neugeborenen nicht als Hirntodkriterium akzeptiert.

Schema zur Feststellung der irreversiblen Hirnfunktionsausfalls Abb. 25.1.

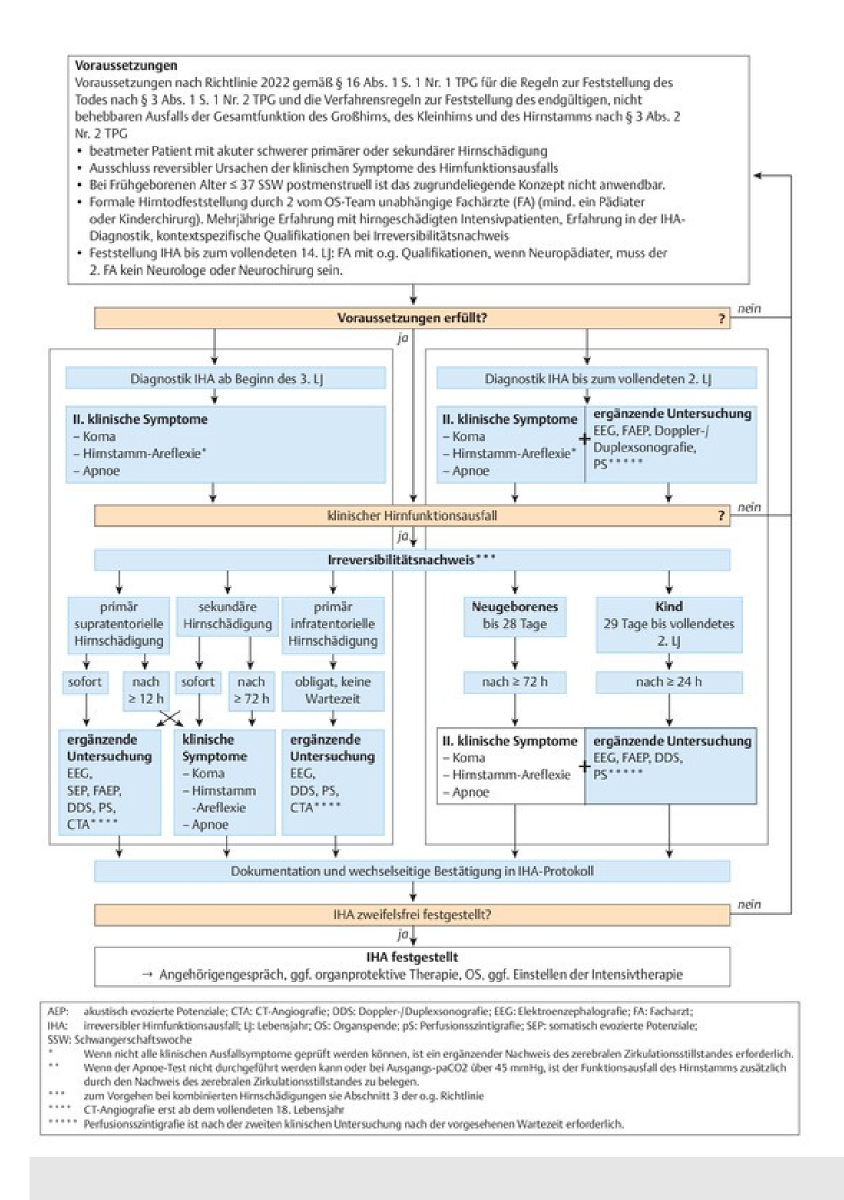


Abb. 25.1 Schema zur Feststellung der irreversiblen Hirnfunktionsausfalls

(Originalabbildung aus [1] aktualisiert nach Transplantationsgesetzt 2022). AEP: akustisch evozierte Potenziale; CTA: CT-Angiografie; DDS: Doppler/Duplexsonografie; EEG: Elektroenzephalografie; FA: Facharzt; IHA: irreversibler Hirnfunktionsausfall; LJ: Lebensjahr; OS: Organspende; PS: Perfusionsszintigrafie; SEP: somatisch evozierte Potenziale; SSW: Schwangerschaftswoche.
* Wenn nicht alle klinischen Ausfallsymptome geprüft werden können, ist ein ergänzender Nachweis des zerebralen Zirkulationsstillstands erforderlich.
** Wenn der Apnoe-Test nicht durchgeführt werden kann oder bei Ausgangs-paCO_2 > 45 mmHg ist der Funktionsausfall des Hirnstamms zusätzlich durch den Nachweis des zerebralen Zirkulationsstillstands zu belegen.
*** Zum Vorgehen bei kombinierten Hirnschädigungen siehe Abschnitt 3 der o.g. Richtlinie.
**** CT-Angiografie erst ab dem vollendeten 18. Lebensjahr.
***** Perfusionsszintigrafie ist nach der zweiten klinischen Untersuchung nach der vorgesehenen Wartezeit erforderlich.

(verändert nach Quelle: Bösel J, Ellger B. SOP Hirntod („irreversibler Hirnfunktionsausfall“). Intensivmedizin up2date 2017; 13(03): 245 – 248)

(verändert nach Quelle: Bösel J, Ellger B. SOP Hirntod („irreversibler Hirnfunktionsausfall“). Intensivmedizin up2date 2017; 13(03): 245 – 248)

Beobachtungszeitraum

- primäre Hirnschädigung (und fehlende ergänzende Untersuchungen):
  - Neugeborene: 72 h.
  - Säuglinge und Kleinkinder bis zum vollendeten zweiten Lebensjahr: 24 h
  - Erwachsene und ältere Kinder: mind. 12 h
- sekundäre Hirnschädigung (und fehlende ergänzende Untersuchungen): Erwachsene und ältere Kinder mind. 72 h

Cave

Bei Neugeborenen und Kindern sind ergänzende Untersuchungen (s.o.) obligat (alternativ: EEG, FAEP oder Nachweis des zerebralen Zirkulationsstillstands)!

Praxistipp

Ab dem 3. Lebensjahr ist der Irreversibilitätsnachweis ohne Wartezeit durch ergänzende Untersuchungen möglich.

Organspende

- Frühzeitig an die Möglichkeit einer Organspende denken!
- Kontaktaufnahme: Klinik-Beauftragter
- Deutsche Stiftung Organtransplantation; DSO: https://www.dso.de (Stand: 26.10.2023); dort Angaben über 7 Organisationszentralen

Mögliche Komplikationen

Zu beachten ist, dass insbesondere bei Neugeborenen und jungen Säuglingen aufgrund der noch offenen Fontanelle und Schädelnähte trotz steigenden intrazerebralen Druckes ein dauerhafter Zirkulationsstillstand ausbleiben kann und trotz eingetretenem irreversiblen Hirnfunktionsausfall Reperfusionsphänomene auftreten können [2], wenn z.B. bei offener Fontanelle der intrakranielle Druck nicht über den MAD ansteigen kann.

Bei großen offenen Schädel-Hirn-Verletzungen, Dekompressionskraniektomien und vereinzelt bei sekundären Hirnschädigungen kommt es, wenn der intrakranielle Druck nicht über den mittleren arteriellen Druck ansteigen kann, nicht zu einem zerebralen Zirkulationsstillstand. In diesen Fällen ist die Irreversibilität des Hirnfunktionsausfalls entweder durch klinische Verlaufsuntersuchungen nach den normierten Wartezeiten oder durch neurophysiologische Befunde nachzuweisen.

Bei der veno-arteriellen ECMO sind die CTA, Perfusionsszintigrafie oder Doppler- und Duplexsonografie als apparative Zusatzverfahren nicht validiert. Bei ECMO-Verfahren mit sowohl einem Lungen- als auch Herzbypass kann aufgrund der arteriellen Rückgabe des oxygenierten Bluts bei erhaltener Restfunktion des Herzens eine asymmetrische Verteilung des kontrastierten Bluts auftreten, so dass einseitig einzelne Äste der A. carotis (communis, externa und interna) nicht kontrastiert werden. Unter diesen Bedingungen ist eine zuverlässige Beurteilung der CTA sowie Doppler- und Duplexsonografie nach aktueller Studienlage nicht möglich.

Bei der Beurteilung von Frühgeborenen ist zu beachten, dass nach dem aktuellen Stand der Wissenschaft eine dem reifgeborenen Kind vergleichbare Ausdifferenzierung der betreffenden zerebralen Strukturen derzeit keine allgemeingültige Antwort zulässig ist [3].

Dokumentation

- diagnostische Voraussetzungen
- klinische und ergänzende apparative Untersuchungsbefunde mit Datum und Uhrzeit sowie den Namen der untersuchenden Ärzte
- Unterschriften beider Ärzte auf dem abschließenden Protokollbogen. Die Dokumentation des irreversiblen Hirnfunktionsausfalls ist mit der zweiten Unterschrift des letzten Untersuchungsganges abgeschlossen.

Diese Aufzeichnung ist auf den jeweiligen Protokollbögen (Links Kap. Literatur) unverzüglich vorzunehmen und zu unterschreiben (vgl. § 5 Abs. 2 S. 3 TPG); die Protokollbögen sind in der Patientenakte zu archivieren [4].

Literatur

Quellenangaben

- [1] Bösel J, Ellger B. SOP Hirntod („irreversibler Hirnfunktionsausfall“). Intensivmedizin up2date 2017; 13(03): 245–248
- [2] Vicenzini E, Pulitano P, Cicchetti R et al. Transcranial Doppler for brain death in infants: the role of the fontanelles. Eur Neurol 2010; 63(3): 164–169
- [3] Eeles AL, Walsh JM, Olson JE et al. Continuum of neurobehaviour and its associations with brain MRI in infants born preterm. BMJ Pediatrics Open 2017; 1 (1): e000136
- [4] Richtlinie gemäß § 16 Abs. 1 S. 1 Nr. 1 TPG für die Regeln zur Feststellung des Todes nach § 3 Abs. 1 S. 1 Nr. 2 TPG und die Verfahrensregeln zur Feststellung des endgültigen, nicht behebbaren Ausfalls der Gesamtfunktion des Großhirns, des Kleinhirns und des Hirnstamms nach § 3 Abs. 2 Nr. 2 TPG, Fünfte Fortschreibung. Dtsch Ärztebl 8. Juli 2022. DOI: 10.3238/arztebl.2022.rl_hirnfunktionsausfall_02:https://www.bundesaerztekammer.de/fileadmin/user_upload/BAEK/Themen/Medizin_und_Ethik/RichtlinieIHA_FuenfteFortschreibung.pdf (Stand 13.07.2023)

Wichtige Internetadressen

- Bundesärztekammer, Irreversibler Hirnfunktionsausfall (IHA): https://www.bundesaerztekammer.de/themen/medizin-und-ethik/wissenschaftlicher-beirat/stellungnahmen-richtlinien-jahresberichte/irreversibler-hirnfunktionsausfall (Stand 14.07.2023)
- Bundesärztekammer. Protokollbogen zur Feststellung des irreversiblen Hirnfunktionsausfalls ab Beginn des dritten Lebensjahres: https://www.bundesaerztekammer.de/fileadmin/user_upload/BAEK/Themen/Medizin_und_Ethik/IHA_Anlage_1.pdf (Stand 14.07.2023)
- Bundesärztekammer. Protokollbogen zur Feststellung des irreversiblen Hirnfunktionsausfalls bis zum vollendeten zweiten Lebensjahr: https://www.bundesaerztekammer.de/fileadmin/user_upload/BAEK/Themen/Medizin_und_Ethik/IHA_Anlage_2.pdf (Stand 14.07.2023)
- Bundesärztekammer. Bestätigung des Todes gemäß § 3 Abs. 2 Nr. 2 TPG i. V. m. § 5 Abs. 1 S. 1 TPG: https://www.bundesaerztekammer.de/fileadmin/user_upload/BAEK/Themen/Medizin_und_Ethik/IHA_Anlage_3.pdf (Stand 14.07.2023)
- Deutsche Stiftung Organtransplantation (DSO): https://www.dso.de (Stand: 26.10.2023)

Intubation

Boris Barbarics, Karl Reiter

Steckbrief

Die endotracheale Intubation ist das Einbringen eines Tubus in die Luftröhre über die Mundhöhle oder einen Nasengang und dient der Sicherung der Atemwege und Beatmung. Sie stellt das Standardverfahren zur kontrollierten Beatmung und optimalen Atemwegssicherung bei bewusstlosen Patienten mit Verlust der Atemschutzreflexe sowie im Rahmen einer Narkose und Operation dar. Das Verfahren der Intubation ist mit erheblichen Risiken behaftet, die durch Übung und Erfahrung minimiert werden können. Dazu gehören Fehlplatzierung (Ösophagus) und Verletzung von Larynx oder Trachea.

Synonyme

Endotracheale Intubation.

Keywords

- Intubation
- invasive Beatmung
- Beatmungszugänge

Definition

Die endotracheale Intubation ist das Einbringen eines Plastikschlauchs (Tubus) in die Luftröhre über die Mundhöhle oder einen Nasengang. Sie dient der Sicherung der Atemwege und Beatmung.

Einordnung der Methode im Vergleich zu weiteren Methoden

Nachteile alternativer Beatmungszugänge

Alternative Beatmungszugänge zur endotrachealen Intubation sind leichter und die Prozedur betreffend risikoärmer anwendbar, zeigen jedoch einige Nachteile:

- keinen oder einen deutlich geringeren Aspirationsschutz
- ein höheres Risiko der Dislokation
- vermehrt Leckluft, insbesondere auch nach gastral, dadurch kompromittierte bis unzureichende Beatmung
- Druckschäden im Gesichtsbereich
- nicht anwendbar bei Verletzungen oder Blutungen im Mittelgesichts- oder oropharyngealen Bereich

Larynxmaske

In Notfallsituationen wird die Verwendung einer Larynxmaske empfohlen, falls keine der eben erwähnten Kontraindikationen (Verletzung, Blutung) vorliegt:

- Platzierung unkompliziert und leicht erlernbar, hier klar der endotrachealen Intubation überlegen
- bei richtiger Position kaum Leckluft, reduzierter, dennoch guter Aspirationsschutz

> **Cave**
>
> - Dislokation beim Umlagern des Patienten
> - altersadäquate Größe beachten
> - nicht geeignet für längere Beatmung bei Intensivpatienten
> - kein Zugang zu tiefen Atemwegen (Absaugmöglichkeit!)

Nichtinvasive Beatmungs-Interfaces

Weitere, sog. nichtinvasive Beatmungs-Interfaces sind Nasenmasken, nasale Prongs, Mund-Nasen-Maske und Full-Face-Maske (Abb. 26.1 und Abb. 26.2) . Sie finden Verwendung bei vorhandenen Schutzreflexen, meist bei wachen oder zumindest nicht tief sedierten Kindern und bei milder bis moderater Beatmungsintensität:

- rasch und unkompliziert positionierbar
- individuelle Auswahl je nach Erfordernis und Toleranz
- Aspirationsgefahr relevant; Ernährbarkeit über Magensonde aber in der Regel möglich

Helm

Eine weitere, noch selten angewandte Methode ist die nichtinvasive Beatmung über einen speziellen, den Kopf umschließenden Helm:

- wenig Beatmungsleck, kein Dislokationsrisiko
- für ausreichenden Beatmungsfluss sorgen (kein CPAP [continuous positive airway pressure]!)
- wesentlicher Nachteil: kein rascher Zugang für Akutmaßnahmen zum Kopf des Kindes möglich



Abb. 26.1 Nasen-Konfektionsmaske.

(Quelle: Grolle B. Nasenmasken. In: Humberg A, Herting E, Göpel W, Härtel C, Hrsg. Beatmung von Kindern, Neugeborenen und Frühgeborenen. 1. Auflage. Stuttgart: Thieme; 2016.)

(Quelle: Grolle B. Nasenmasken. In: Humberg A, Herting E, Göpel W, Härtel C, Hrsg. Beatmung von Kindern, Neugeborenen und Frühgeborenen. 1. Auflage. Stuttgart: Thieme; 2016.)



Abb. 26.2 Mund-Nasen-Konfektionsmaske.

(Quelle: Grolle B. Mund-Nasen-Masken. In: Humberg A, Herting E, Göpel W, Härtel C, Hrsg. Beatmung von Kindern, Neugeborenen und Frühgeborenen. 1. Auflage. Stuttgart: Thieme; 2016)

(Quelle: Grolle B. Mund-Nasen-Masken. In: Humberg A, Herting E, Göpel W, Härtel C, Hrsg. Beatmung von Kindern, Neugeborenen und Frühgeborenen. 1. Auflage. Stuttgart: Thieme; 2016)

Indikationen

Standardbeatmungszugang zur kontrollierten Beatmung:

- perioperativ bzw. periinterventionell
- bei Koma oder tiefer Sedierung mit Verlust der Schutzreflexe (GCS [Glasgow Coma Score] ≤ 7) oder Apnoe
- bei drohender Verlegung der Atemwege (Blutung, Schwellung, Larynxödem)
- bei respiratorischer Insuffizienz mit hoher Beatmungserfordernis

Aufklärung und spezielle Risiken

- Bei der Intubation können Blutungen, Infektionen und Verletzungen im Bereich von Oropharynx, Larynx und Trachea auftreten. Hierzu gehören Schäden an den Zähnen oder Weichteilen des Mundes und Verletzungen der Atemwege.
- Komplikationen im Rahmen der Narkoseeinleitung zur Intubation:
  - Hypoxie/Hyperkarbie bei Misserfolg oder Verzögerung bis zur richtigen Positionierung
  - Hämodynamische Dekompensation durch Analgosedierung und Muskelrelaxierung und durch Änderung der intrathorakalen Druckverhältnisse (**cave** insbesondere bei kardialer Insuffizienz oder Hypovolämie)
- Besonders schwierig oder unmöglich kann die Intubation bei Patienten mit anatomischen Anomalien im Mund-Kiefer-Bereich (mandibuläre Retrognathie, Gaumenspalte, behinderte Mundöffnung) oder der Atemwege (Larynxstenose). Äußerst hilfreich ist die Verwendung eines Videolaryngoskops!

> **Cave**
>
> Immer Probleme bei früheren Narkoseeingriffen eruieren! Wenn möglich, im Wachzustand vor Intubation oropharyngeale und Atemwegs-Anatomie klären (unbehinderte Mundöffnung, Stridor?).

- In seltenen Fällen kann die Intubation zu schwerwiegenden Komplikationen führen, z. B. zu einem Pneumothorax, einer Luftembolie oder einem Herzstillstand.

Personal, Material und Einstelltechnik

- ausreichend Licht
- eine Assistenzkraft
- EKG-Monitor mit Blutdruck und Sauerstoffsättigung (QRS-Ton laut schalten!)
- Beatmungsbeutel mit entsprechenden Masken und Reservoir, Larynxmasken, Guedel-Tubus, Sauerstoffbrille und Sauerstoff
- starrer Absauger, angeschlossen, Sog an
- (Kaltlicht)-Laryngoskop: Batteriegriff. Optimal: Videolaryngoskop inkl. verschiedener Spatelgrößen und -formen für schwierige Intubationssituationen (z.B. C-förmiger Spatel)
- Endotrachealtubus (verschiedene Größen, Tab. 26.1, Tab. 26.2)
- Führungsdraht
- Magill-Zange
- Blockerspritze
- Gleitmedium
- Befestigungsgurt (bzw. Klebeband)

Alternativen bzw. zusätzliche technische Hilfen:

- Flexibles Bronchoskop
- bei Bedenken, ob eine Intubation möglich ist, z.B. Epiglottitis, Mittelgesichtsfraktur, Larynxstenose: chirurgischer Stand-by für Notfalltracheotomie

Tab. 26.1 Maskengröße, Länge (Nasensteg–Th2) und Durchmesser des Tubus in Abhängigkeit vom Gewicht des Kindes (500–4000 g).

Gewicht des Kindes (g)	Maskengröße	Tubuslänge (cm)	Tubusgröße ID (mm)
500	00	7,0	2,5 (2,0)
750	0	7,5	2,5
1000	1–2	8,0	2,5
1250	2	8,5	2,5
1500	2	9,0	2,5
1750	2	9,5	2,5
2000	3	10,0	3,0
2500	3	10,5	3,0
3000	3	11,0	3,0
3500	3	11,0	3,5
4000	3	11,5	3,5

ID: Innendurchmesser.

Tab. 26.2 Tubusgröße und Einführtiefe in Abhängigkeit vom Alter des Kindes.

Alter des Kindes	Tubusgröße gecufft, z.B. Microcuff oder Mallinckrodt, ID (mm)	Einführtiefe (cm) oral; nasal etwa +2 cm
< 8 Monate	3,0	10
8 Monate bis 2 Jahre	3,5	12–13
2–4 Jahre	4,0	12 + Alter/2
4–6 Jahre	4,5	12 + Alter/2
6–8 Jahre	5,0	12 + Alter/2
8–10	5,5	12 + Alter/2
10–12	6,0	12 + Alter/2
12–14	6,5	12 + Alter/2
14–16	7,0	12 + Alter/2

ID: Innendurchmesser.

Alter des Kindes	Tubusgröße gecufft, z.B. Microcuff oder Mallinckrodt, ID (mm)	Einführtiefe (cm) oral; nasal etwa +2 cm
> 16	7,5	12 + Alter/2
ID: Innendurchmesser.		

Durchführung

1. Analgosedierung, Präoxygenierung: Kind mit Maske und Sauerstoff beatmen, bis eine ausreichende Sauerstoffsättigung und möglichst normale Herzfrequenz erreicht sind. Bei Herzstillstand sollte die Herzdruckmassage für die Intubation höchstens für 30 Sekunden unterbrochen werden.
2. Rachen und nach vorheriger Nahrungsaufnahme bei Säuglingen Magen gut absaugen!
3. Kind lagern: Kopf in Schnüffelposition (Säugling) oder leicht überstreckt (> 1 Jahr) und in Mittellage. Ein Unterlagern der Schultern ist in der Regel nur bei ausladendem Hinterkopf hilfreich.
4. Tubus leicht anfeuchten, bei nasaler Intubation Tubus in ein Nasenloch senkrecht (!) und vorsichtig einführen und einige Zentimeter vorschieben.
5. Laryngoskop in die linke Hand nehmen!
6. Weiteres Vorgehen je nach Alter des Kindes:
    - Säuglingsalter: Laryngoskop mit geradem Intubationsspatel verwenden. Mit Zeigefinger der rechten Hand Oberkiefer zu sich heranziehen, evtl. mit Mittelfinger Kinn nach distal drücken. Spatel rechts der Zunge einführen, diese nach links schieben.

> **Praxistipp**
>
> Man erleichtert sich die Einstellung des Larynx, wenn der Larynxspatel zunächst tief eingeführt, dann in Griffrichtung (!) angehoben, nicht gehebelt (!) und dann langsam zurückgezogen wird. Die Epiglottis soll beim Säugling mit dem geraden Spatel „aufgeladen" werden.

- Kindesalter: Laryngoskop mit gebogenem Intubationsspatel verwenden. Die Spitze liegt zwischen Zungengrund und Epiglottis. Beim Anheben des Spatels in Griffrichtung gelingt Einsicht in den Aditus laryngis.

1. **A.** Bei **nasaler Intubation** wird der Tubus mit der Magill-Zange gefasst und in den Larynx eingeführt. Ein Widerstand der Tubusspitze im Larynxeingang (Krikoidstufe!) kann meist mit einer leichten Kopfneigung des Kindes oder Drehen des Tubus überwunden werden. Der Tubus wird so tief eingeführt, bis die entsprechende Markierung der Tubusspitze gerade eben noch sichtbar ist.
   B. Bei **oraler Intubation** wird der Tubus mit einem Führungsdraht in den Larynx eingeschoben.

> **Praxistipp**
>
> Die orale Intubation ist wegen des Führungsdrahtes die einfachere Technik (daher primärer Notfallzugang!), wobei allerdings die Tubusfixierung schwieriger ist → erhöhte Dislokationsgefahr!

1. Tubus mit zwei Fingern festhalten und Laryngoskop vorsichtig entfernen.
2. Kontrolle der Tubuslage auskultatorisch (über Magen, dann beidseits subaxillär), mittels endtidalem CO_2 und in der Regel radiologisch.
3. Markierung des Tubus an der Nasenspitze bzw. am Mundwinkel notieren, gut fixieren (zuvor Haut und Tubus gut entfetten).
4. Evtl. Magensonde einlegen.

Mögliche Komplikationen

Komplikationen während der Durchführung

Je mehr Intubationsversuche und je länger die Intubation dauert, umso höher ist das Risiko für Komplikationen:

- Hypoxie, Hyperkapnie, hämodynamische Dekompensation
- Verletzung der Atemwege und des Larynx (Blutung, Schwellung, Zahnschaden)
- Reizung des N. vagus mit Bradykardie
- Fehlintubation in den Ösophagus
- Erbrechen
- einseitige Intubation

Kriterien für korrekte Lage

- Tubus hat unter Sicht Stimmritze passiert
- symmetrische Thoraxbewegungen
- Atemgeräusch über beiden Lungen gleichmäßig laut
- Atemgeräusch über Magen kaum hörbar, keine Magenüberblähung
- bei Thoraxkompression strömt Luft hörbar aus dem Tubus
- Kondenswasser im Tubus bei Exspiration
- Verbesserung der O_2-Sättigung
- Kapnografie zeigt exspiratorischen End-pCO_2 an

> **Praxistipp**
>
> Für die präklinische Intubation existieren kolorimetrische CO_2-Detektoren (Farbumschlag bei korrekter Intubation).

Komplikationen nach der Durchführung

„DOPES“, siehe Tab. 26.3.

Tab. 26.3 Gründe für plötzliche Probleme beim intubierten Kind („DOPES“).

	Ursache	Maßnahmen
D	„Displacement“ des Tubus	Reintubation
O	Obstruktion des Tubus	Absaugen, ggf. Tubuswechsel
P	Pneumothorax	Entlastung mit einer Thoraxdrainage
E	„Equipment failure“ (z.B. O_2-Zufuhr, Beatmungsgerät)	ggf. Wechsel des Beatmungsgerätes bzw. einzelner Bestandteile
S	„Stomach“ (durch Überblähung des Magens ungünstige Rückwirkung auf Zwerchfellmechanik)	Magensonde

Weitere Komplikationen: Larynxödem, subglottische Stenose.

Literatur

Literatur zur weiteren Vertiefung

- [1] Stein ML, Park RS, Kovatsis PG. Emerging trends, techniques, and equipment for airway management in pediatric patients. Paediatr Anaesth 2020; 30: 269–279
- [2] Boensch M, Schick V, Spelten O et al. Estimation of the optimal tube length: Systematic review article on published formulae for infants and children. Anaesthesist 2016; 65 (2): 115–121

Beatmung

Karl Reiter, Boris Barbarics

Steckbrief

Die maschinelle Beatmung dient zur Unterstützung oder vollständigen Übernahme der Ventilation (CO_2-Eliminierung) und Oxygenierung (Sauerstoffversorgung) bei respiratorischer

Insuffizienz. Es wird zwischen invasiver (über Endotrachealtubus oder Trachealkanüle) und nichtinvasiver Beatmung (über diverse Interfaces, z.B. Nasenmaske) unterschieden. Eine Vielzahl unterschiedlicher Beatmungsmodi ist verfügbar. Eine inadäquat durchgeführte Beatmung kann zu schweren Organschäden führen; aber auch die Beatmung selbst kann Lungenschäden hervorrufen. Daher ist eine auf den individuellen Patienten und die spezifische Indikation abgestimmte Beatmungstechnik von eminenter Bedeutung.

Synonyme

- Beatmung
- Mechanical Ventilation
- nichtinvasive Beatmung
- NIV

Keywords

- Beatmung
- Beatmungsmodus
- nichtinvasive Beatmung
- assistierte Spontanatmung
- High-frequency Oszillation
- HFNC

Definition

Die maschinelle Beatmung dient der Unterstützung oder kontrollierten Übernahme der Ventilation (CO_2-Eliminierung) und Oxygenierung (Sauerstoffversorgung) des Patienten.

Einordnung der Methode im Vergleich zu weiteren Methoden

Die Durchführung einer Beatmung ist obligat bei bedrohlich eingeschränkter Oxygenierung und Ventilation.

Folgende Methoden der Beatmung stehen zur Verfügung:

- Im Akutfall: Mund-Nase-Beatmung, manuelle Beutel-Beatmung über Mund-Nasen- oder Larynxmaske.
- Maschinelle Beatmung unter Verwendung eines Beatmungsgerätes:
  - Bei offenen Atemwegen und vorhandenen Schutzreflexen kann oftmals eine nichtinvasive Beatmung durchgeführt werden, wenn keine hohen Beatmungsdrucke erforderlich sind.

> **Cave**
>
> Magenblähung. Ein Übergang zu einer Beatmung über Endotrachealtubus sollte bei erforderlichen PEEP-Werten > 8 cm H_2O oder Spitzendrucken > 20 cm H_2O erwogen werden (plausible Erfahrungswerte, keine Evidenz).

- Eine invasive Beatmung über Endotrachealtubus ist bei fehlenden Schutzreflexen oder höhergradiger globaler respiratorischer Insuffizienz indiziert. Bei Progredienz der respiratorischen Insuffizienz unter nichtinvasiver Beatmung sollte früh eine Intubation erwogen werden. Eine Beatmung über Endotrachealtubus weist den sichersten Beatmungszugang auf (keine pharyngeale oder laryngeale Obstruktion, deutlich geringere Aspirationsgefahr, direktes Absaugen von Bronchialsekret möglich). Aber: mehr Sedierung erforderlich, laryngeale Intubationsschäden möglich.
- Bei schwerem ARDS (acute respiratory distress syndrome) und Beatmungsdrucken persistierend > 30 cm H_2O sollte eine ECMO erwogen werden.

Indikationen

Indikationen und Ziele

Absolute Indikationen

- Atemstillstand
- respiratorische Insuffizienz mit zunehmender Tachypnoe, Hypoxämie refraktär zu O_2-Gabe über Nasenbrille/Nasen-Mund-Maske mit O_2-Reservoir
- intolerable Dyspnoe
- ZNS-Affektion mit Vigilanzstörung und erhöhtem intrakraniellem Druck
- neuromuskuläre Erkrankung mit erhöhtem CO_2 und/oder Hypoxämie

Relative Indikationen

Müssen individuell entschieden werden. Die folgenden Kriterien geben Anhaltspunkte:

- $paCO_2$ > 60 mmHg bei akuter (!) respiratorischer Insuffizienz ohne Ansprechen auf (wenn wie z.B. bei obstruktiver Symptomatik indiziert) Inhalationstherapie (z.B. Beta2-Mimetika) und Steroide; in der Regel hochgradige Dyspnoe
- bei Frühgeborenen wiederholte Apnoen innerhalb mehr als einer Stunde mit Bedarf zur Maskenbeatmung und fehlendem Ansprechen auf atemanaleptische Therapie z.B. mit Koffein
- jeder kardiovaskuläre Schock, der sich nicht sofort beheben lässt
- Enzephalopathie mit Hypoventilationsphasen oder fehlenden Schutzreflexen, Koma
- angeborene Zwerchfellhernie des Neugeborenen
- nicht kompensierbare Obstruktion der Atemwege

Aufklärung und spezielle Risiken

In der Regel muss eine Beatmung in einer dringlichen Situation eingeleitet werden und ist alternativlos.

Risiken:

- wesentliche Risiken einer Intubation: Narkose, Verletzung von Larynx oder Trachea (letzteres sehr selten) mit konsekutiver Narbenstenose, Aspiration
- wesentliche Risiken einer Beatmung: Lungenschädigung, Pneumothorax, nosokomiale Infektion
- nichtinvasive Beatmung: insbesondere Druckstellen im Gesicht, Aspirationsgefahr, inkonstante Beatmung

Personal, Material und Einstelltechnik

Abkürzungen und Begriffe

Wichtige Abkürzungen und Begriffe zur maschinellen Beatmung Tab. 27.1, Abb. 27.1.

Tab. 27.1 Wichtige Abkürzungen und Begriffe zur maschinellen Beatmung.

Parameter	Beschreibung	Einheit
Flow	Gasfluss in den Beatmungsschläuchen	l/min
T_{insp}	Inspirationszeit	s
T_{exsp}	Exspirationszeit	s
Tidalvolumen	Atemzugsvolumen: relevant pro kg KG	cm H_2O/ kg
PIP	Positive Inspiratory Pressure (maximaler Beatmungsdruck, Spitzendruck)	cm H_2O
PEEP	Positive Endexspiratory Pressure (Atemwegsdruck am Ende der Exspiration)	cm H_2O
Driving pressure	Differenz PIP - PEEP bei VCV: Plateaudruck - PEEP bei PCV: PIP, wenn Flow = 0 erreicht - PEEP	cm H_2O
MAD	mittlerer Atemwegsdruck	cm H_2O
Frequenz	Anzahl der Beatmungszüge	/min
FiO_2	Fraction of inspired Oxygen (inspiratorische Sauerstoffkonzentration)	%

Parameter	Beschreibung	Einheit
I:E	Verhältnis von Inspirationszeit zu Exspirationszeit	
Plateau	Zeit, in der PIP konstant bleibt (nach initialem Druckpeak bei Volumenkontrolle)	
Trigger	Spontanatmungsbemühungen, die einen maschinellen Atemzug auslösen: Druck- oder Flow-Trigger (sensitiver)	cm H_2O l/min

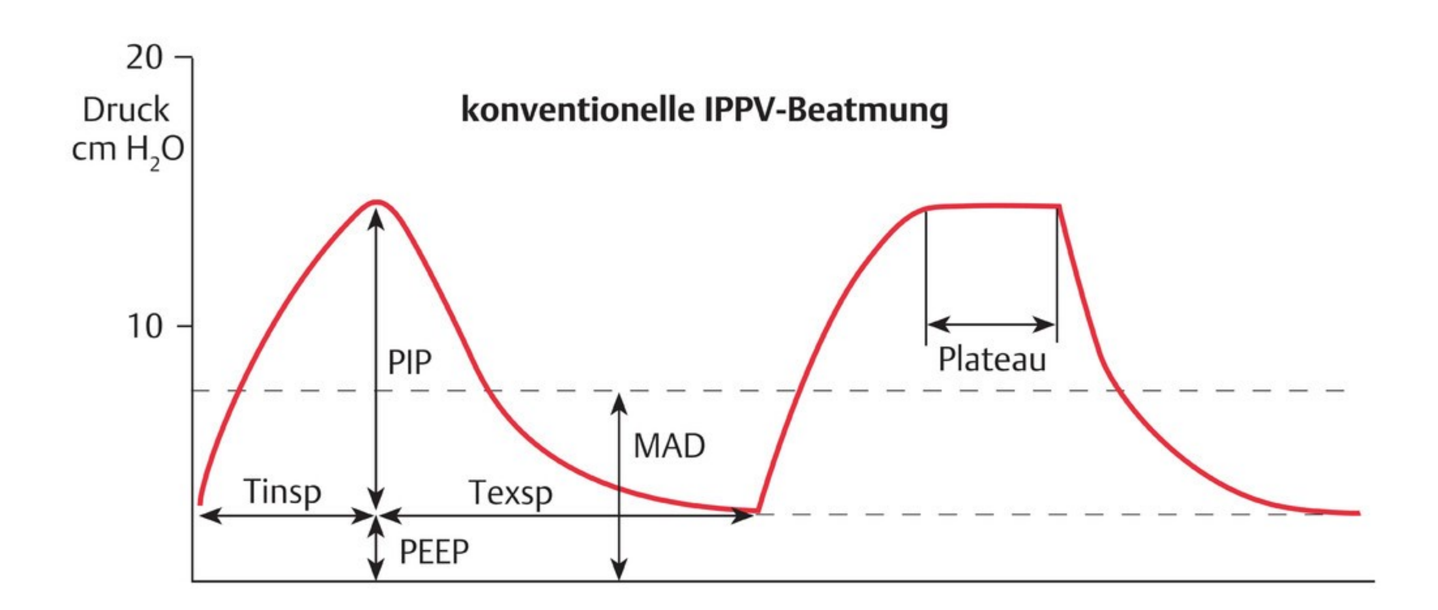


Abb. 27.1 Konventionelle IMV-Beatmung (IMV = Intermittent Mandatory Ventilation).

(Quelle: Kerbl R, Kurz R, Roos R, Wessel L, Reiter K. Beatmungsformen. In: Kerbl R, Kurz R, Roos R, Wessel L, Reiter K, Hrsg. Checkliste Pädiatrie. 5., vollständig aktualisierte Auflage. Stuttgart: Thieme; 2015.)

(Quelle: Kerbl R, Kurz R, Roos R, Wessel L, Reiter K. Beatmungsformen. In: Kerbl R, Kurz R, Roos R, Wessel L, Reiter K, Hrsg. Checkliste Pädiatrie. 5., vollständig aktualisierte Auflage. Stuttgart: Thieme; 2015.)

Standardmodi der Beatmung

Cave

Moderne Beatmungsmodi sind inzwischen sehr vielfältig. Neben einheitlich bezeichneten Standardmodi ist die Terminologie diverser Modifikationen oft von den Herstellern von Respiratoren geprägt worden, wird deshalb uneinheitlich verwendet und teils widersprüchlich definiert.

Kontrollierte Beatmung

Oberbegriff: **IPPV (Intermittent Positive Pressure Ventilation)** im Gegensatz zu Negativdruckbeatmung (z.B. mit Cuirass). Letztere ist wegen hohem Aufwand und oft problematisch interferierendem Kollaps der oberen Atemwege verlassen worden.

Formen: PCV: Pressure-controlled Ventilation (Abb. 27.2); VCV: Volume-controlled Ventilation (Abb. 27.3).

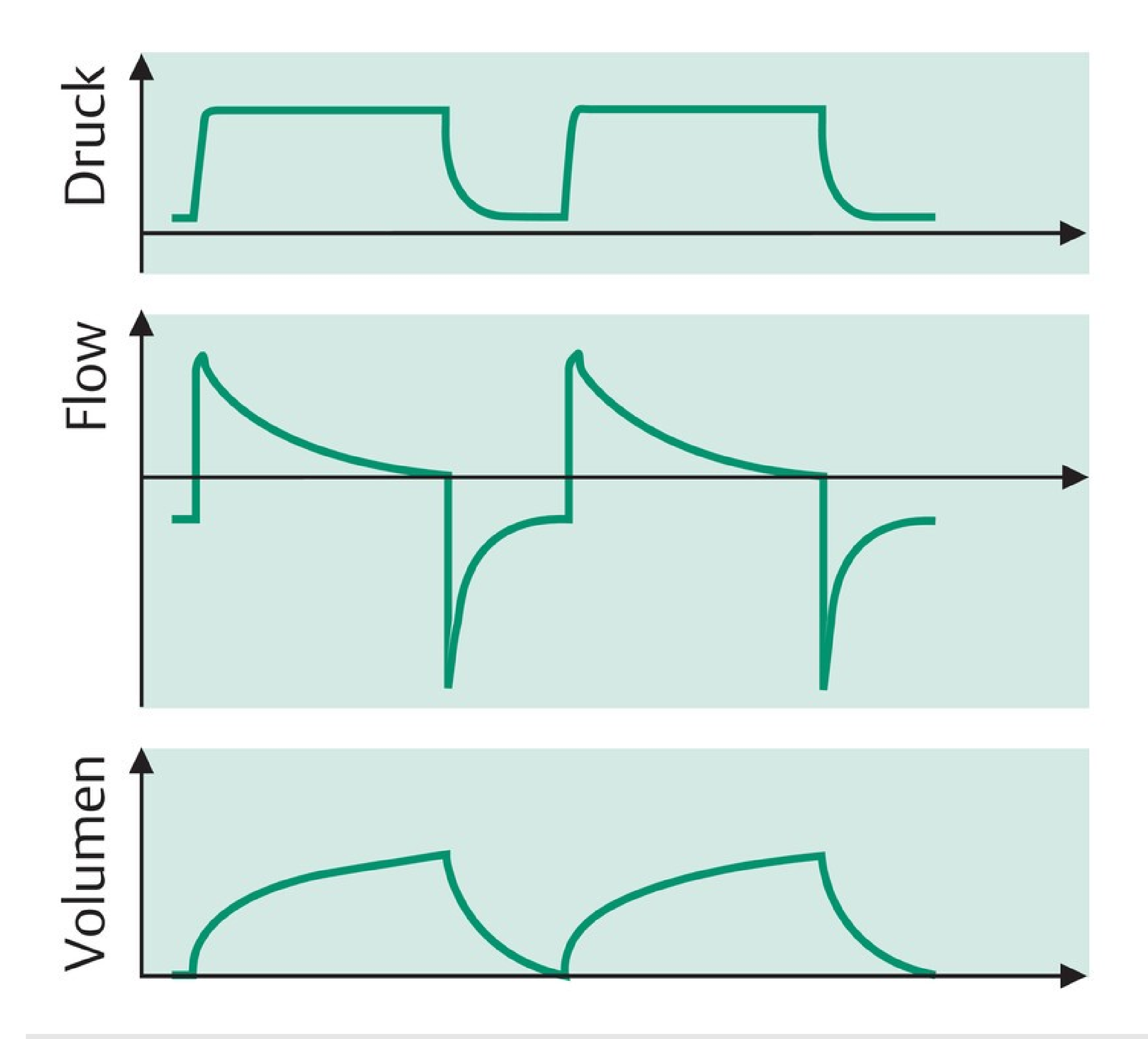


Abb. 27.2 Intrinsic PEEP. Erkennbar am endexspiratischen Restflow im Flow-Diagramm (hier: druckkontrollierte Inverse Ratio Ventilation. Druck = Atemwegsdruck); Flow = In- und Exspirationsflow; Volumen = Tidalvolumen.

(Quelle: Rathgeber J. Druckkontrollierte Beatmung. In: Leuwer M, Marx G, Trappe H, Zuzan O, Hrsg. Checkliste Intensivmedizin. 5., überarbeitete Auflage. Stuttgart: Thieme; 2017.)

(Quelle: Rathgeber J. Druckkontrollierte Beatmung. In: Leuwer M, Marx G, Trappe H, Zuzan O, Hrsg. Checkliste Intensivmedizin. 5., überarbeitete Auflage. Stuttgart: Thieme; 2017.)

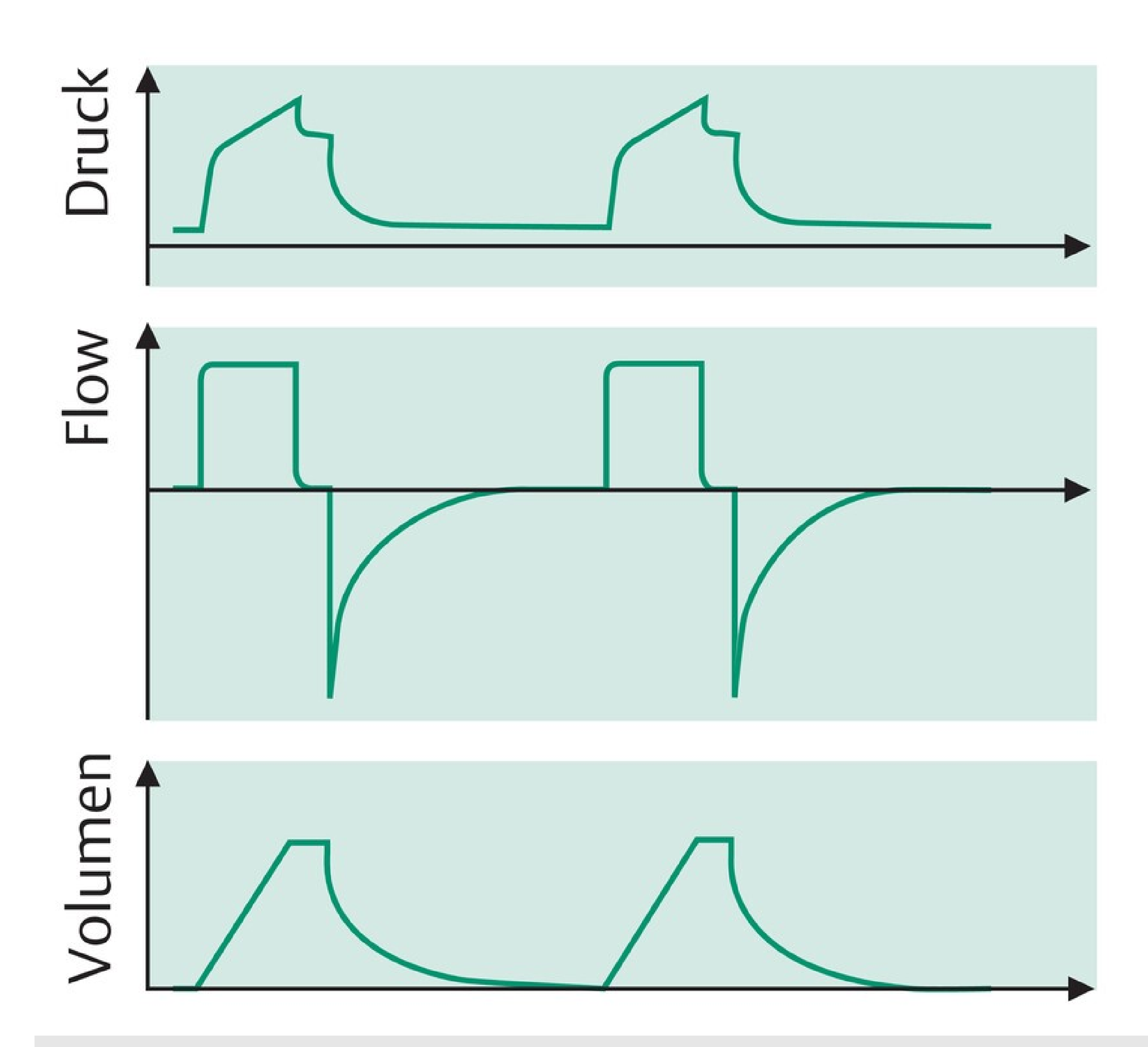


Abb. 27.3 Druck-Flow-Volumendiagramme bei volumenkontrollierter maschineller Beatmung mit konstantem Flow (VC-CMV). Druck = Atemwegsdruck; Flow = In- und Exspirationsflow; Volumen = Tidalvolumen.

(Quelle: Rathgeber J. Druckkontrollierte Beatmung. In: Leuwer M, Marx G, Trappe H, Zuzan O, Hrsg. Checkliste Intensivmedizin. 5., überarbeitete Auflage. Stuttgart: Thieme; 2017.)

(Quelle: Rathgeber J. Druckkontrollierte Beatmung. In: Leuwer M, Marx G, Trappe H, Zuzan O, Hrsg. Checkliste

Intensivmedizin. 5., überarbeitete Auflage. Stuttgart: Thieme; 2017.)

Assistierte, kontrollierte Beatmung (A/C)

(A/C = Assist/Control Ventilation).

Prinzip: Maschine gibt definierte Atemzüge in festgelegter Frequenz, Inspirationsdauer und Beatmungsdruck (druckkontrollierte Beatmung) oder Tidalvolumen (volumenkontrollierte Beatmung) ab. Jeder Atemzug ist jedoch auch vom Patienten triggerbar. Liegt die Spontanatmungsfrequenz oberhalb der festgelegten Frequenz, wird jede Atembemühung des Patienten mit einem identischen Atemzug der Maschine beantwortet. Bei Beatmungsleck (z.B. ungeblockter Tubus, NIV) ist eine druckkontrollierte Beatmung überlegen (kompensiert das Leck). Bei exaktem Monitoring von Spitzendruck und Tidalvolumen sind druckkontrollierte und volumenkontrollierte Modi in Sicherheit und Effektivität vergleichbar. Die heute in der Regel verwendeten blockbaren Endotrachealtuben lassen eine ausreichend genaue Kontrolle des abgegebenen Tidalvolumens zu.

Anwendung: häufig. Dauerbeatmung beim sedierten Patienten, bei jeder schweren Lungenerkrankung, z.B. ARDS, im Schock. Der Patient wird von der Atemarbeit entlastet. Vermeiden von Atmung des Patienten „gegen“ Maschine.

> **Merke**
>
> Triggerniveau so anpassen, dass Atembemühungen des Patienten erkannt werden, jedoch keine Fehltriggerung (Autotriggerung) der Maschine auftritt.

Modifikationen: abhängig von der bei jedem Atemzug gemessenen Druck/Flow-Relation adaptiert die Maschine den nötigen Flow und Beatmungsdruck, um ein vorgegebenes Tidalvolumen zu erreichen (Pressure-regulated Volume Control, Adaptive Pressure Ventilation u.a.). Vorteilhaft bei wechselnder respiratorischer Compliance.

SIMV (Synchronized Intermittent Mandatory Ventilation)

Prinzip: Jede spontane Inspiration des Patienten innerhalb eines definierten Zeitfensters wird vom Gerät erkannt und mit einem durch die Einstellung definierten Atemzug der Maschine beantwortet. Bleiben spontane Atemzüge aus, beatmet die Maschine mit festgelegter Frequenz. Dazwischen kann der Patient spontan atmen, wobei hier eine Atemunterstützung durch die Maschine einstellbar ist, die sich von derjenigen des kontrollierten Atemzuges unterscheidet.

Nachteil: applizierte Atemzüge (spontan vs kontrolliert) unterscheiden sich in Flow und zeitlichem Ablauf, daher eher irritierend für Patienten und dadurch evtl. höherer Sedierungsbedarf. Wird seltener als früher angewendet.

Anwendung: Indikationen vergleichbar zum A/C-Modus. In der Regel bei SIMV etwas mehr Übernahme von Atemarbeit durch den Patienten.

Keine klaren Vorteile gegenüber A/C.

Assistierte Beatmung

Vorbemerkung

Der Respirator registriert spontane Atemzüge des Patienten und reguliert die maschinellen Atemzüge entsprechend der Spontanatmung des Patienten. Zum Triggern dieser Beatmung durch den Patienten werden entweder Druck oder Flow in den Atemschläuchen gemessen.

NAVA (Neurally Adjusted Ventilatory Assist)

In den letzten Jahren ist eine weitere Triggermöglichkeit entwickelt worden, die elektrische Zwerchfellimpulse abgreift und zusätzlich anhand deren Charakteristika, die mit dem Atemantrieb korrelieren, das Ausmaß der Beatmungsunterstützung durch die Maschine abstimmt (NAVA-Beatmung). Nötig ist hierfür entsprechende Software im Ventilator sowie eine spezifische ösophageale Sonde, über die jedoch auch eine Nahrungsgabe möglich ist.

Anwendung: die meiste Erfahrung liegt in der Neonatologie vor, obwohl Anwendung bis ins Erwachsenenalter praktikabel. Insbesondere die am Atemantrieb orientierte variable maschinelle Unterstützung könnte zur Reduktion von Beatmungsschäden der Lunge führen.

PSV (Pressure Support Ventilation)

Prinzip: Der Zeitpunkt der Inspiration wird vom Patienten getriggert. Der Atemzug wird nach Zeit, Flow und PIP von der Maschine definiert, die Inspiration wird aber beendet, wenn ein bestimmter Grenzwert des Inspirationsflows unterschritten wird, d.h. der Patient kann die maschinelle Inspiration durch Beendigung seiner Inspiration beenden.

Anwendung: häufige Beatmungsform beim relativ wachen Patienten zur Respiratorentwöhnung.

> **Cave**
>
> Eines der frühesten Zeichen der Erschöpfung ist die Zunahme der Atemfrequenz (oder Apnoen). Dann sollte eine Erhöhung der Atemunterstützung oder eine kontrollierte Beatmungsform erwogen werden.

Volume Support

Prinzip: analog zur PSV, lediglich wird anstelle einer Druckunterstützung eine Volumenunterstützung definiert.

CPAP (Continuous Positive Airway Pressure)

Prinzip: Keine) explizite Beatmungsform, Patient atmet spontan (Abb. 27.4). Minimaler Atemwegsdruck (PEEP) wird von der Maschine aufrechterhalten. Wird in der Regel nicht bei intubierten Patienten angewendet, sondern in Form eines Nasen-CPAP (Adapter umschließt beide Nasenlöcher oder über nasale Prongs), Rachen-CPAP (Tubus liegt im Rachen) oder Masken-CPAP.

Anwendung: Entwöhnung von der Beatmung; leichtes Lungenödem, bronchopulmonale Dysplasie.

Modifikationen: CPAP mit Volumenlimitierung zur Reduktion schädigender Scherkräfte bei hohen Tidalvolumina.

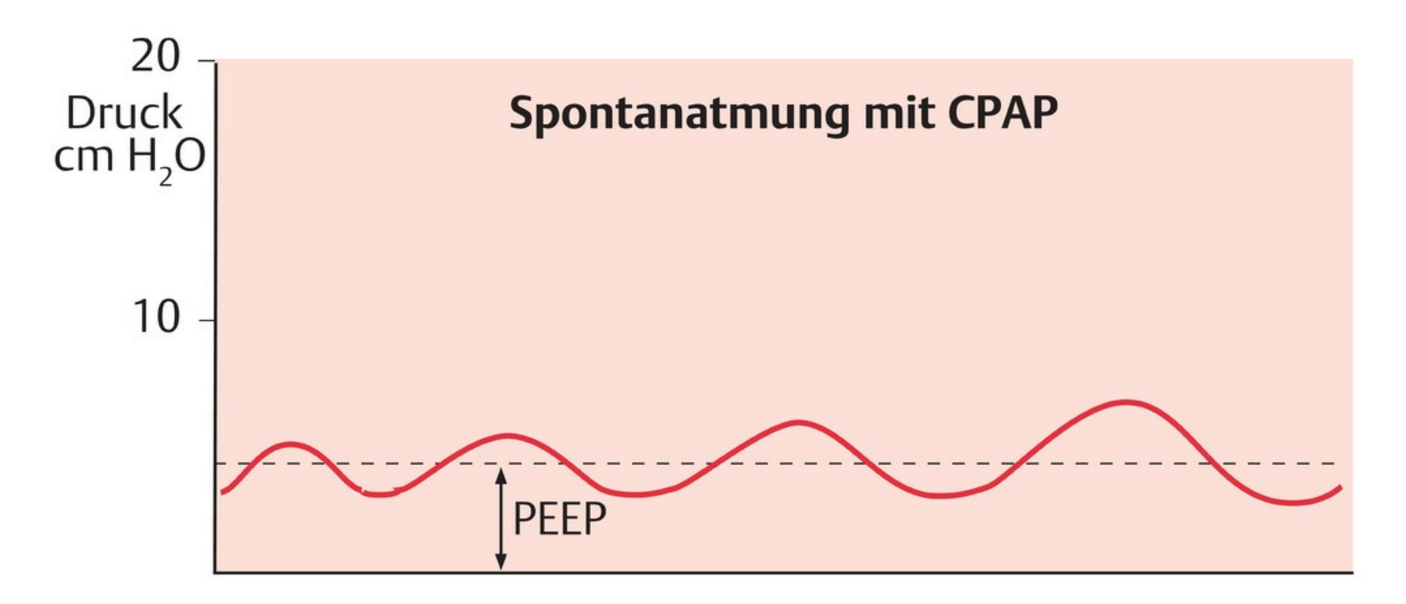


Abb. 27.4 Spontanatmung mit CPAP.

(Quelle: Kerbl R, Kurz R, Roos R, Wessel L, Reiter K. Beatmungsformen. In: Kerbl R, Kurz R, Roos R, Wessel L, Reiter K, Hrsg. Checkliste Pädiatrie. 5., vollständig aktualisierte Auflage. Stuttgart: Thieme; 2015.)

(Quelle: Kerbl R, Kurz R, Roos R, Wessel L, Reiter K. Beatmungsformen. In: Kerbl R, Kurz R, Roos R, Wessel L, Reiter K, Hrsg. Checkliste Pädiatrie. 5., vollständig aktualisierte Auflage. Stuttgart: Thieme; 2015.)

HFNC (High Flow Nasal Cannula)

Prinzip: ebenfalls keine explizite Beatmungsform, Patient atmet spontan. Applikation hoher, angefeuchteter O_2-Flows über spezifische nasale Interfaces (z.B. Prongs). Definition als High Flow unterschiedlich, in der Regel 2 l/kg KG/min, verschiedentlich gilt ein Flow > 1 l/kg/min bereits als High Flow.

Beim Früh- und Neugeborenen kann zuverlässig ein allerdings nicht kontrollierbarer PEEP aufgebaut werden, dies sehr fraglich beim älteren Kind und Erwachsenen; erleichtert Dyspnoe und Atemarbeit durch Hyperkapnie-Reduktion (Reduktion des Totraums).

Anwendung: am besten untersucht und gut indiziert bei schwerer Bronchiolitis, bei Früh- und

Neugeborenen mit moderater respiratorischer Insuffizienz. Versuch insbesondere bei obstruktiven und hyperkapnischen Erkrankungen. Validierung bei vielen Erkrankungen steht noch aus.

> **Cave**
>
> Gefahr der Verschleierung der Progression einer respiratorischen Insuffizienz durch lediglich Hyperkapnie-Besserung und verzögerte Intubation.

Weitere Verfahren der Beatmung

Es handelt sich hier um Verfahren, bei denen z.T. noch wenig Erfahrungen vorliegen. Die erwähnten Modi stellen eine Auswahl der bekannteren Modi dar. Es wird eine Vielzahl an Modifikationen von den verschiedenen Herstellern der Ventilatoren angeboten.

BIPAP (Biphasic Positive Airway Pressure)

Prinzip: Druckkontrollierte, zeitgesteuerte Beatmung, bei der zwei verschiedene Niveaus eines kontinuierlichen positiven Atemwegsdrucks aufrechterhalten werden. Sowohl die Zeiten des hohen als auch des niedrigen Drucks und das Druckniveau können gesteuert werden. Der große Vorteil dieser Beatmung ist, dass jederzeit eine Spontanatmung des Patienten möglich ist.

Anwendung: Von Vorteil ist diese Beatmung auch bei unterschiedlicher Belüftung verschiedener Lungenareale.

VG (Volume-guarantee-Beatmung)

Prinzip: Der Patient kann frei atmen. Der Respirator garantiert ein bestimmtes Tidalvolumen durch Nachregulation des PIP unabhängig von Resistance und Compliance.

Anwendung: sehr selten, keine klare Indikation, Probleme v.a. bei Tubusleck.

PAV (Proportional Assist Ventilation)

Prinzip: Der Beatmungsdruck erhöht sich während jeder spontanen Inspiration proportional zum momentanen Atemgasflow und Atemzugvolumen. Dadurch Unterstützung jeder spontanen Atmung.

Anwendung: derzeit experimentell und wenig gebräuchlich.

APRV (Airway Pressure Release Ventilation)

Prinzip: Spontanatmung findet auf 2 Druckniveaus statt, volle Exspiration nur kurz auf niedrigem Druckniveau.

Anwendung: kaum Erfahrung, nicht gebräuchlich.

ASV (Adaptive Support Ventilation)

Nach initialer Compliance-Resistance-Messung durch die Maschine Beatmung mit kalkulierter minimaler Atemarbeit.

Nichtkonventionelle Beatmungsverfahren

Hochfrequenz-Oszillation (HFO)

Prinzip: Bei der HFO erfolgt die Ventilation mit Atemzugvolumina, die weit unter dem Volumen des Totraums von Tubus und Atemwegen liegen. Die Ventilation erfolgt durch Konvektion und Diffusion des Atemgases. Die Oxygenierung wird durch einen hohen MAD und einen adäquaten FiO_2 erreicht.

Anwendung: Neugeborene und Frühgeborene mit schwerwiegendem ARDS und Pneumothorax oder interstitiellem Emphysem. Vorteil der HFO ist allerdings umstritten. Ebenfalls umstritten ist der Effekt bei ARDS des Kindes und Erwachsenen, wird aber vielerorts als Rescue-Beatmung versucht.

Beatmung mit NO

Prinzip: Eine Zufuhr von NO im Atemgas kann mit jeder konventionellen Beatmung kombiniert werden. Es werden dabei dem Atemgas bis zu 20 ppm, in Ausnahmefällen und mit strikter

zeitlicher Begrenzung bis 80 mmHg NO beigemischt (später reduziert auf die minimal wirksame Konzentration). NO ist ein hochwirksamer Vasodilatator mit sehr geringer Halbwertszeit. Bei Inhalation von NO tritt der Effekt deswegen nur an den Pulmonalgefäßen, also ohne systemische Nebenwirkung ein. Abbau- und Nebenprodukte sind Methämoglobin, NO_2, salpetrige Säure, Nitrite und Nitrosamine. Methämoglobin muss regelmäßig kontrolliert werden!

Anwendung: pulmonale Hypertonie (z.B. PPHN = persistierende pulmonale Hypertonie des Neugeborenen = PFC-Syndrom), ARDS (bessere Oxygenierung, jedoch keine Mortalitätsverbesserung gezeigt).

Extrakorporale Membranoxygenierung (ECMO)

Prinzip: Oxygenierung und CO_2-Elimination über extrakorporalen Kreislauf (arteriovenös oder venovenös).

Anwendung: schwerste, lebensbedrohliche Lungenerkrankungen wie schwerstes ARDS z.B. infolge Mekonium-Aspirationssyndrom, evtl. Zwerchfellhernie, auch beim älteren Kind und Erwachsenen. Derzeit ultima ratio bei Versagen jeder anderen Beatmungsmöglichkeit und wenn unter konventioneller Beatmung anhaltend hohe Beatmungsdrucke über 30–35 cm H_2O aufgewendet werden müssen. Die Indikation muss frühzeitig (bis zum Ende der ersten Beatmungswoche) gestellt werden, daher frühzeitige Kontaktaufnahme mit ECMO-Zentrum!

Durchführung

Beatmung ohne Hilfsmittel

Mund-zu-Mund-Beatmung (Kinder > 1 Jahr) oder Mund-zu-Mund+Nase-Beatmung (Kinder < 1 Jahr).

Beatmung mit Maske und Beatmungsbeutel

- geeignete Maske aussuchen (für Frühgeborene und Neugeborene bis 4 kg KG Tab. 26.1), für größere Kinder soll die Maske Mund und Nase des Kindes gut umschließen, kein Druck auf Bulbi (Abb. 27.5)
- C-Griff: Daumen und Zeigefinger dienen zum Abdichten der Maske, Mittel-/Ring- und Kleinfinger zum Anheben des Kinns, Mundboden nicht nach oben drücken
- initial **maximale Sauerstoffkonzentration** in Beatmungsbeutel einleiten (**wichtig:** Sauerstoffreservoir am Beatmungsbeutel als Schlauch oder besser Beutel!).

> **Cave**
>
> O_2 ist in hohen Konzentrationen toxisch und vieles spricht dafür, dass Hyperoxie auch die langfristige Prognose einschränkt. Auf Aktualisierung der Reanimationsleitlinien hinsichtlich zu verwendender O_2-Konzentrationen achten!

- bei Einleitung von 100 % O_2 in Beutel erreichbare O_2-Konzentrationen:
  - FiO_2 0,4–0,6 ohne Sauerstoffreservoir
  - FiO_2 0,7–0,9 mit Sauerstoffreservoir
- pulsoximetrische SaO_2 (Sauerstoffsättigung des Blutes) zwischen (92–)94 und 98 % anstreben (Ausnahme: CO-Intoxikation oder Z.n. Fontan-Operation oder pulmonale Hypertonie: 100 %)
- **Faustregel für Beatmungsdruck:** Kinderbeatmungsbeutel rasch komprimiert zwischen:
  - Daumen und Zeigefinger → 10 cm H_2O
  - Daumen und zwei Fingern → 20 cm H_2O
  - Daumen und drei Fingern → 30 cm H_2O

> **Praxistipp**
>
> Es gibt Manometer zum Anschließen an den Ambu-Beutel; mit denen man den notwendigen Druck trainieren kann bzw. zu hohen Druck vermeiden kann. Aber: entscheidend ist effektive Hebung des Thorax.

- Verwendung von Larynxmasken bei Patienten ohne Reflexe oder in Anästhesie möglich. **Cave:** Induktion von Erbrechen.

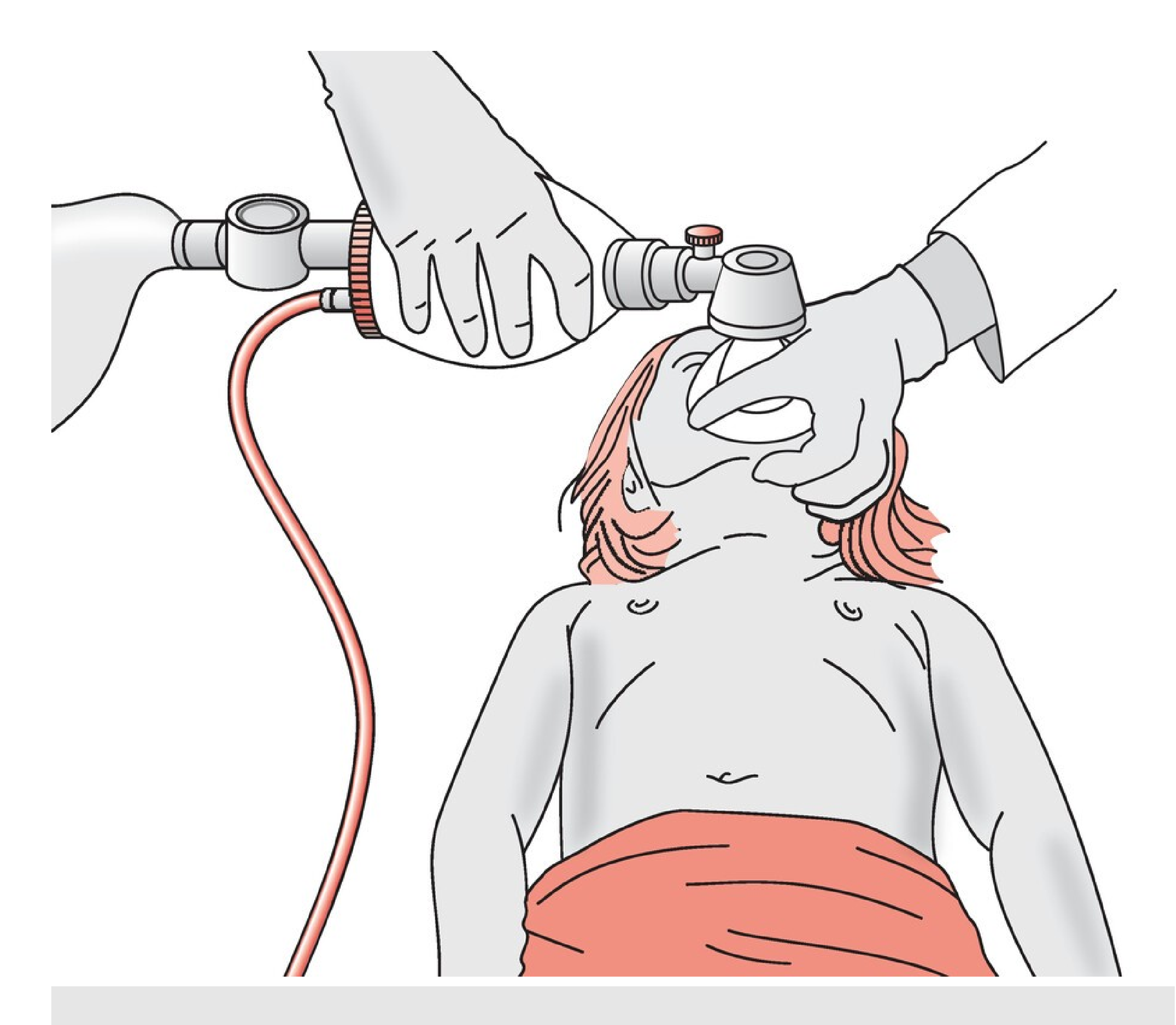


Abb. 27.5 Maske-Beutel-Beatmung (MBB).

(Quelle: Kerbl R, Kurz R, Roos R, Wessel L, Reiter K. Beatmungsformen. In: Kerbl R, Kurz R, Roos R, Wessel L, Reiter K, Hrsg. Checkliste Pädiatrie. 5., vollständig aktualisierte Auflage. Stuttgart: Thieme; 2015.)

(Quelle: Kerbl R, Kurz R, Roos R, Wessel L, Reiter K. Beatmungsformen. In: Kerbl R, Kurz R, Roos R, Wessel L, Reiter K, Hrsg. Checkliste Pädiatrie. 5., vollständig aktualisierte Auflage. Stuttgart: Thieme; 2015.)

Beatmung mit Intubation und Beatmungsbeutel

Zur Technik der Intubation Kap. Durchführung. Kontrolle der richtigen Tubuslage:

- subaxilläre Auskultation, ob beide Lungen gleichmäßig belüftet sind, Lautstärkevergleich mit Auskultation über Magen
- CO_2-Detektor mit Farbumschlag sehr hilfreich zur Bestätigung der intratrachealen Lage
- Röntgenthorax nach Intubation: Spitze des Tubus bei Th 2. Radiologische Kontrolle des Zwerchfellstands – Ziel: ca. 8.–10. Rippe

Praxistipp

Die Intubation ist die sicherste Art der Beatmung, erfordert aber eine umso größere Übung, je jünger das Kind ist. Dem Ungeübten wird deswegen von der Intubation in einer Notsituation abgeraten. Meist ist auch eine Maskenbeatmung oder Larynxmaske ausreichend, bis die erforderliche Intubation unter optimalen Bedingungen durchgeführt werden kann.

- Endotrachealtubus mit Cuff verwenden, verfügbar ab Kleinkindalter mit möglichst distal angebrachtem Cuff (ansonsten kommt Cuff häufig im Krikoid zu liegen und verursacht Druckläsionen)
- **Beatmungsfrequenz:** initial 5 Atemspenden, anschließend Säuglinge 20/min, > 1 Jahr i.d.R. 12/min
- Bei **suffizienter Beatmung** hebt und senkt sich der Thorax und das Kind wird rosig(er).

Cave

Zu hohe Beatmungsdrucke und Volumina führen zum Übertritt von Luft in den Magen → Überblähung des Magens → Zwerchfellhochstand und Verschlechterung der Beatmung, Aspirationsgefahr! Eine vorsichtige und langsame Inspiration (Dauer 1–1,5 Sekunden) ist deshalb bei Kleinkindern in der Akutsituation besonders wichtig! Meist wird zu schnell und mit zu hohem Druck beatmet: Hyperventilation vermindert die zerebrale Durchblutung.

Praxistipp

Beatmung nichtinvasiv: Interfaces

Es werden inzwischen eine Vielzahl von Nasenmasken, Nasen-Mund-Masken oder Full-Face-Masken für nahezu alle Altersklassen industriell angeboten. Für die Akut- insbesondere aber auch für die Langzeitbeatmung sollte unbedingt auf eine optimale Passform mit möglichst geringer Druckausübung auf Nase und Gesicht geachtet werden.

Neben Masken-Interfaces stehen nasale Prongs und auch für Beatmung geeignete RAM-Brillen zur Verfügung.

Cave: Der nasale und pharyngeale Atemweg muss frei sein, um eine effektive Beatmung zu ermöglichen (Adenoidhyperplasie, obstruierendes Nasensekret, Choanalstenosen?).

Merke

Wichtiger als die schematische Einstellung der Beatmung sind die intensive Beobachtung des beatmeten Patienten (Thoraxexkursionen sichtbar, sehen physiologisch aus? Keine Einziehungen? Exspiration bis in Ruhelage?) und die Einstellung bzw. fortlaufende Korrektur der Beatmungsparameter nach den individuellen Bedürfnissen (BGA) des Patienten.

Liegt das Atemzugvolumen im physiologischen Bereich (6[–8] ml/kg KG) oder muss dieser Bereich bewusst überschritten werden?

Respirator-Einstellungen und Beatmungskontrolle

Standard-Einstellung

- kontrollierte Beatmungsform wählen, z.B. Pressure Control oder Volume Control
- Frequenz altersabhängig, Frühgeborene (FG) 60–70/min bzw. die vom Frühgeborenen vorgegebene Frequenz, Neugeborene (NG) 60–70/min, Schulkind 20/min, Jugendliche 15–20/min
- I:E-Verhältnis etwa 1:2 (also z.B. bei FG 0,3 s T_{insp}, 0,6 s T_{exsp}).
- Inspirationszeit T_{insp}:
  - bei FG 0,3 s
  - bei Säuglingen 0,5 s
  - bei Erwachsenen 1,0–1,2 s
- Atemzugvolumen: Ziel FG/NG ca. 4–6(–8) ml/kg KG, Kinder 7–9 ml/kg KG
- Beatmungsdruck:
  - Thorax hebt sich „physiologisch“.
  - Plateaudruck max. 28 cm H_2O; max. 32 cm H_2O bei schlechter Thorax-Compliance
- PEEP: 5 cm H_2O.
- FiO_2: bei Früh- und Neugeborenen bis SaO_2 88–95 %, ältere Kinder 92–98 %.
- Trigger:
  - -2 Drucktrigger bis Flow-Trigger
  - auf Autotriggerung der Maschine achten

Kontrolle der Blutgase

- innerhalb von 20 Minuten nach Beginn oder Änderung der Beatmung
- Goldstandard sind **arterielle Blutgase** (beim Frühgeborenen präduktal)
- bei **kapillärer** BGA (Abnahme aus gut perfundierter Haut):
  - pH und pCO_2 korrelieren ausreichend verlässlich mit arteriellen Werten
  - pO_2 korreliert schlecht mit paO_2 (venöse Beimischung) und ist deshalb nicht verlässlich!
- **Transkutane** Werte ($tcpO_2$ und $tcpCO_2$) sollten mindestens 6- bis 12-stündlich (bis 24-stündlich) durch arterielle Blutgasanalysen kontrolliert werden.

Steuerung von $paCO_2$

Hängt ab von Atemminutenvolumen AMV (AMV = Frequenz × Atemzugvolumen), Totraum und

funktioneller Residualkapazität (FRC).

Atemzugvolumen bei Druck- oder Flow/Zeit-gesteuerten Respiratoren

- primär abhängig von PIP minus PEEP
- sekundär abhängig von T_{insp} . und T_{exsp}
  - bei längerer T_{insp} . kann das Tidalvolumen durch länger anhaltenden Atemgasfluss steigen (v.a. bei obstruktiver Erkrankung)
  - bei zu kurzer T_{exsp} . Gefahr des Inadvertent-PEEP (Air Trapping und Gefahr der hämodynamischen Beeinträchtigung und eines Pneumothorax).
- hoher Flow begünstigt raschen Druckanstieg und rasche Inspirationszeit und damit Ventilation

Atemzugvolumen bei Volumen-gesteuerten Respiratoren

- wird durch Einstellung vorgegeben
- **Cave Tubusleck:** exspiratorisches (und nicht inspiratorisches) Atemzugvolumen korreliert mit dem effektiv applizierten Volumen
- **FRC:** abhängig vom PEEP (verhindert Alveolarkollaps)

Steuerung von paO_2

Hängt ab von inspiratorischer Sauerstoffkonzentration (FiO_2) und korreliert am besten mit mittlerem Atemwegsdruck (MAD).

- Der MAD wird beeinflusst von (in abnehmender Wirksamkeit): PEEP > lange T_{insp} . > hoher PIP > hoher Flow > langes Plateau > kurze T_{exsp}.
- Aber: Ein (zu) hoher MAD reduziert u.U. das Herzzeitvolumen und damit die Sauerstofftransportkapazität.

Faktoren zur Optimierung der Oxygenierung bzw. Ventilation Tab. 27.2.

Tab. 27.2 Faktoren zur Optimierung der Oxygenierung bzw. Ventilation.

Oxygenierung ↑ (paO_2 ↑)	Ventilation ↑ ($paCO_2$ ↓)
Konzept: MAD erhöhen	Konzept: Atemminutenvolumen steigern
• Inspirationszeit ↑ • PEEP ↑ • PIP ↑ • FiO_2 ↑	• PIP ↑ • Atemfrequenz ↑ • PEEP zu hoch? Zu niedrig bei Tracheobronchomalazie? • evtl. Inspirationszeit verkürzen, um Exspiration zu verlängern • nicht zu kurze Exspirationszeit

Abkürzungen: s. Tab. 27.1

Mögliche Komplikationen

Übersicht über häufige Beatmungsschwierigkeiten Tab. 27.3.

Tab. 27.3 Übersicht über häufige Beatmungsschwierigkeiten.

Problem	mögliche Ursache	mögliche Reaktion
Patient hat ungenügende SaO_2	Pneumonie, ARDS, IRDS, Lungenödem	• PEEP ↑ • FiO_2 ↑ • Inspirationszeit ↑ • PIP ↑
	Pneumothorax	• Atemgeräusch auskultieren, Sono-Thorax oder Rö, Transillumination bei Neugeborenen • Drainage
	Tubus in Ösophagus	Lage kontrollieren: kaum Widerstand bei Beatmung, keine Thoraxexkursion, Magen gebläht, $etCO_2$ messbar?

Problem	mögliche Ursache	mögliche Reaktion
	Tubus verlegt	Tubus absaugen
	Herzzeitvolumen zu gering	Gabe von Volumen, Katecholamine
Ventilation unzureichend	Pneumonie, ARDS, IRDS, Lungenödem	• PIP ↑ • Atemfrequenz ↑
	Exspirationszeit zu kurz „Over-PEEP“	Exspirationszeit verlängern
	Tubusobstruktion	Tubus absaugen
	ungleiche Obstruktion der Atemwege	• Inspirationszeit ↑ • Exspirationszeit ↑ • hohen FiO_2 tolerieren
	interstitielles Emphysem	• Exspirationszeit ↑ • PIP ↓ • FiO_2 ↑ und $paCO_2$ ↑ (permissive Hyperkapnie) tolerieren

Literatur

Literatur zur weiteren Vertiefung

- [1] Acute Respiratory Distress Syndrome Network. Ventilation with lower tidal volumes as compared with traditional tidal volumes for acute lung injury and the acute respiratory distress syndrome. N Engl J Med 2000; 342(18): 1301–1308
- [2] Kneyber MCJ, de Luca D, Calderini E et al. & Section Respiratory Failure of the European Society for Paediatric and Neonatal Intensive Care. Recommendations for mechanical ventilation of critically ill children from the Paediatric Mechanical Ventilation Consensus Conference (PEMVECC). Intensive Care Med 2017; 43(12): 1764–1780
- [3] Pediatric Acute Lung Injury Consensus Conference Group. Pediatric acute respiratory distress syndrome: consensus recommendations from the Pediatric Acute Lung Injury Consensus Conference. Pediatr Crit Care Med 2015; 16(5): 428–439

Punktion peripherer Arterien

Karl Reiter, Boris Barbarics

Steckbrief

Die Punktion peripherer Arterien wird einmalig zur arteriellen Blutentnahme oder für einen längeren Zeitraum, z.B. zur Überwachung der Blutgase und invasiven Blutdruckmessung angewendet. Je nach Größe des Kindes und Indikation werden Arterien in der Leiste oder am distalen Unterarm punktiert. Die Verweildauer einer arteriellen Kanüle muss auf den erforderlichen Zeitraum begrenzt werden, da signifikante Komplikationen auftreten können.

Synonyme

- arterielle Punktion
- Arterienpunktion
- Arterial puncture

Keywords

- arterielle Punktion
- invasive Blutdruckmessung
- arterielle Blutgase

Definition

Die Punktion peripherer Arterien wird einmalig zur arteriellen Blutentnahme oder über einen längeren Zeitraum beim Legen eines arteriellen Zugangs angewendet.

Einordnung der Methode im Vergleich zu weiteren Methoden

- **Blutdruckmessung:**
  - die invasive arterielle Blutdruckmessung ist der Goldstandard
  - die nichtinvasive Blutdruckmessung kann von vielen Faktoren, z.B. Auswahl der Manschettenbreite, Distanz zwischen Hautoberfläche und Arterie, beeinflusst sein, dadurch keine sichere Korrelation zur arteriellen Messung
  - meist stimmt der MAD am besten überein
- **Blutgase:**
  - zur exakten Bestimmung der pulmonalen Funktion, insbesondere der Oxygenierung, ist eine arterielle Blutentnahme erforderlich
  - weniger zuverlässig, aber wegen praktischer Probleme der Punktion in der Pädiatrie häufig alternativ verwendet: Pulsoxymetrie, kapilläre Blutgase (unzuverlässig für Oxygenierungsparameter)
  - bei V.a. Störungen der O_2-Affinität des Hämoglobins: Divergenz von pulsoximetrischer Sättigung und paO_2 diagnostisch

Indikationen

- Monitoring von Blutgasen bei beatmeten Patienten
- invasive Blutdruckmessung bei Intensivpatienten
- Abnahme größerer Blutmengen (z.B. bei Austauschtransfusion)

Relative Kontraindikationen

- Thrombozytopenie
- Verwendung einer Endarterie (A. brachialis, A. femoralis, auffälliger Allen-Test) muss vital indiziert sein

Aufklärung und spezielle Risiken

- Blutung
- Thrombose
- Ischämie des von der Arterie versorgten Gewebes
- Nervenschädigung
- Pseudoaneurysma
- vaskuläre Fistelbildung
- Infektion
- Bei der Verwechslung von Arterien und Venen können schwere Komplikationen wie Nekrosen auftreten (wenn z.B. Medikamente in den vermeintlich venösen, jedoch tatsächlich arteriellen Zugang gespritzt werden).

Anästhesie

Schmerzhafte Prozedur: zumindest Hautanästhesie (EMLA), nichtmedikamentöse Analgesie-fördernde Maßnahmen und evtl. mit dünner Nadel periarterielle Lokalanästhesie empfohlen. Evtl. kurzfristige Gabe von N_2O (Lachgas).

Personal, Material und Einstelltechnik

- sterile Handschuhe, steriles Lochtuch, steril abgedeckter Tisch, Nahtmaterial/Nadelhalter/ Schere zur Fixierung der Kanüle
- 70 % Alkohol und sterile Tupfer zur Desinfektion
- 0,9 % oder 0,45 % NaCl-Lösung zur Spülung und Dauerperfusion

- arterielle Punktionssets, alters- resp. größenadaptierte Plastikkanüle:
  - 25 G bei Neugeborenen
  - 23–19 G bei Säuglingen bzw. Kleinkindern
- optimal: Ultraschallgerät mit Doppler zur Darstellung der Arterie.

Erleichternd ist oft eine Fixierung der Hand in Supination und Überstreckung mithilfe von Mullbinden und Pflaster.

Anatomie

Für einen arteriellen Zugang bzw. Punktion werden (je nach Indikation) folgende Gefäße verwendet:

- Arteria radialis/ulnaris
- Arteria dorsalis pedis
- Arteria tibialis posterior
- Arteria femoralis
- Arteria axillaris
- Arteria brachialis

Durchführung

1. Vorbereitung des Kindes (unter Anästhesie):

- sichere Fixation der Hand bzw. des Fußes zur Punktion.
- bei Punktion der A. radialis leichte (!) Dorsalflexion der Hand, Abb. 28.1.

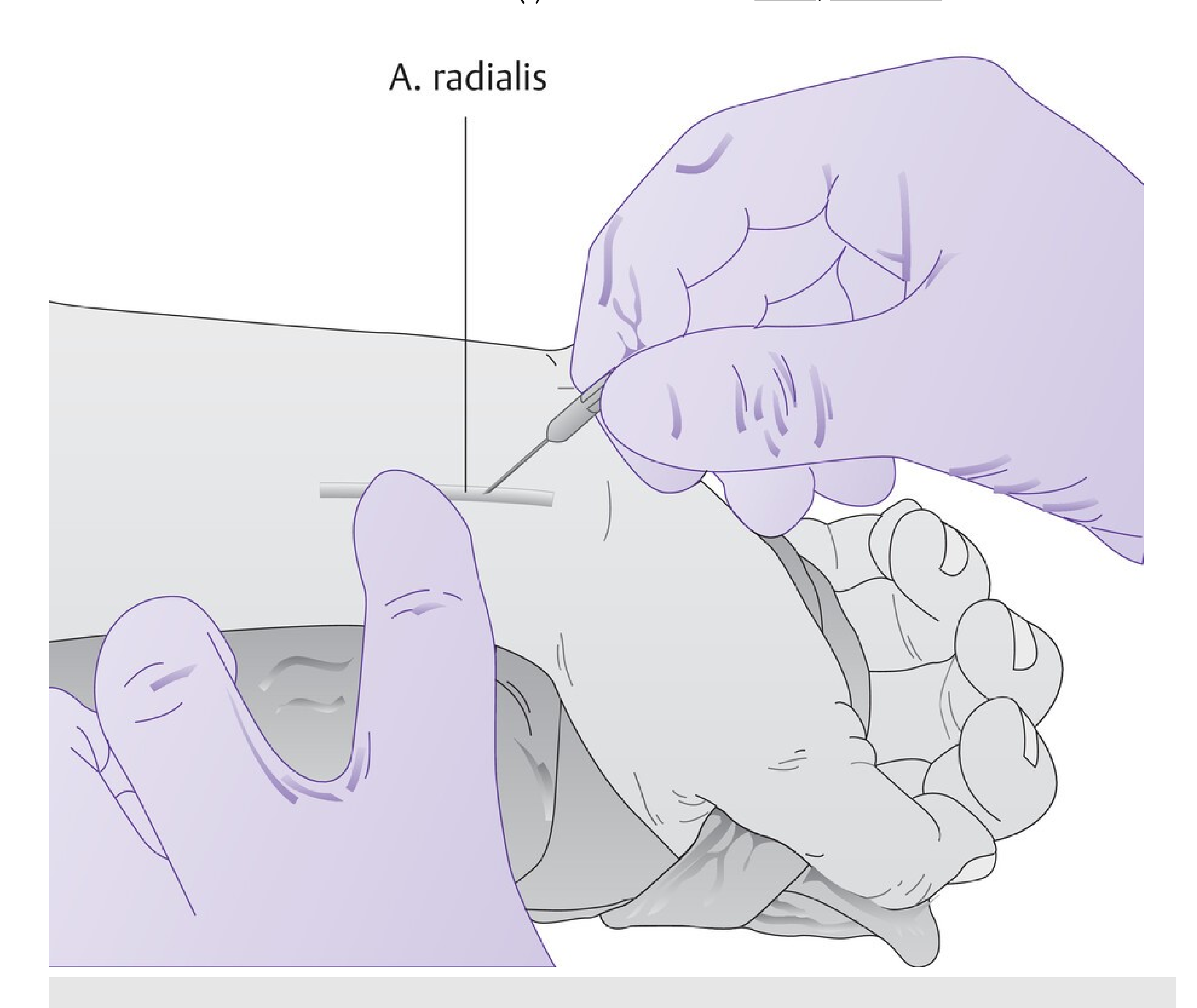


Abb. 28.1 Punktion der A. radialis.

(Quelle: Hahn J. Punktion von Arterien. In: Hahn J, Hrsg. Checkliste Innere Medizin. 8., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Stuttgart: Thieme; 2018.)

(Quelle: Hahn J. Punktion von Arterien. In: Hahn J, Hrsg. Checkliste Innere Medizin. 8., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Stuttgart: Thieme; 2018.)

2. Vorbereitung der Punktionsstelle:

- Lokalisation der Arterie durch Palpation, evtl. Transillumination mit Kaltlicht oder mit

Gefäßdoppler. Analgesie durch EMLA-Pflaster. Besonderheiten bei der Anwendung von EMLA-Pflaster und -Creme bei Neugeborenen und Säuglingen beachten.

> **Cave**
>
> - EMLA-Pflaster nicht bei Kindern jünger als 12 Monate anwenden, die gleichzeitig mit anderen möglicherweise Methämoglobinämie auslösenden Arzneimitteln behandelt werden.
> - EMLA-Pflaster sollte nicht bei Frühgeborenen angewendet werden.

- Bei A. radialis Kollateralkreislauf der A. ulnaris überprüfen: Er ist in Ordnung, wenn das Abdrücken der A. radialis nicht zur Ischämie (Blässe) der Finger führt (Allen-Test).
- Desinfektion der Punktionsstelle mit 70 % Alkohol und sterilem Tupfer (ausreichende Einwirkzeit von 30–60 Sekunden einhalten!)
- Abdecken mit Lochtuch und erneute Desinfektion
- sterile Handschuhe anziehen

3. Punktion der Arterie:

- ohne Seldingertechnik:
  - Punktion der Arterie im Winkel von 10–15 Grad zur Hautoberfläche
  - Nadel langsam vorschieben
  - wenn Blut zurückfließt, Mandrin ziehen und Verweilkanüle vorsichtig und langsam (!) weiter vorschieben
- in Seldinger-Technik:
  - über die Punktionsnadel Einführen des Seldinger-Drahtes
  - unter manueller Fixierung des Seldinger-Drahtes die Punktionsnadel entfernen
  - über den Seldinger-Draht den arteriellen Katheter in die Arterie vorschieben

> **Cave**
>
> Der Draht muss **immer** festgehalten werden und sichtbar sein, damit er nicht vollständig in die Arterie geschoben wird!

- Entfernung des Seldinger-Drahtes aus dem Katheter und Anschließen des **vollständig entlüfteten** arteriellen Systems

> **Cave**
>
> Arteriospasmus – abwarten, ggf. betreffende Extremität (Region) leicht anwärmen. Kanüle entfernen, wenn Spasmus länger als 15–20 Minuten anhält.

4. Offenhalten der Kanüle mit 0,9 % oder 0,45 % NaCl-Lösung, Flussrate mindestens 0,5 ml/h. Richtwerte der Flussrate:

- Frühgeborene: 0,5 ml/h
- reife Neugeborene: 1 ml/h
- ältere Kinder: 1–5 ml/h

5. Festnähen an beiden Flügeln. Absolut sichere Fixation der Plastikkanüle wie bei einer venösen Venenverweilkanüle. Zusätzliche sichere Ruhigstellung des Hand- bzw. Sprunggelenks mit Schiene!

6. Nach Möglichkeit **Anschluss der Kanüle an einen Druckmonitor** mit engen Alarmgrenzen für diastolischen und systolischen Druck. Eine Diskonnektion (Blutungsgefahr) oder Verstopfen der Nadel wird dadurch über Druckalarm sofort erkannt.

7. Ständige Beobachtung der Finger bzw. Zehen auf gute Perfusion!

Mögliche Komplikationen

- Thromboembolie, Vasospasmus:

    - Hautnekrosen
    - Nekrose einzelner Finger/Zehen
- Infektion (Gefahr geringer als bei venöser Verweilkanüle)
- Hämatom und Blutung: durch Fehlpunktion oder unzureichende Sicherung des Zugangs
- Schädigung eines peripheren Nervs, beispielsweise:
    - N. medianus bei Punktion der A. radialis
    - N. ulnaris bei Punktion der A. ulnaris
    - N. tibialis posterior bei Punktion der A. tibialis posterior
- Pseudoaneurysma (seltene Komplikation)

> **Praxistipp**
>
> Ein Pseudoaneurysma ist durch sorgfältige Lokalisation der Arterie vermeidbar (keine Punktion auf „gut Glück"!).

- Hyper-, Hyponatriämie oder Hypervolämie durch ständiges Spülen der Nadel bei Frühgeborenen (daher Spülung immer nur mit kleinen Mengen)

Literatur

Literatur zur weiteren Vertiefung

- [1] Imbrìaco G, Monesi A, Spencer TR. Preventing radial arterial catheter failure in critical care – Factoring updated clinical strategies and techniques. Anaesth Crit Care Pain Med 2022; 41(4): 101096

Zentraler Venenkatheter

Boris Barbarics, Karl Reiter

Steckbrief

Ein zentraler Venenkatheter (ZVK) ist ein intravenöser Katheter, der in die Vena cava superior oder inferior herznah in der Regel mittels Seldinger-Technik eingebracht wird. Bei kritisch kranken Patienten sind so großzügige Volumengaben, Blutentnahmen, die Messung des zentralen Venendrucks und anderer Monitoringparameter (z.B. Herzzeitvolumen) sowie parallele und kontinuierliche Medikamentengaben möglich.

Synonyme

- zentralvenöser Katheter
- Zentralvenenkatheter (ZVK)
- zentralvenöser Zugang
- Central venous catheter (CVC)

Keywords

- intravenöser Zugang
- ZVD
- zentralvenöse Sättigung

Definition

Ein ZVK ist ein ein- oder mehrlumiger venöser Katheter, der zur Medikamentengabe oder Flüssigkeitsapplikation sowie diverser hämodynamischer Monitoringverfahren in eine herznahe große Vene platziert wird.

Einordnung der Methode im Vergleich zu weiteren Methoden

Es gibt neben dem Standard-ZVK weitere zentralvenös eingebrachte Kathetertypen:

- Eine **venöse Schleuse** ist ein großer (8,5 French) einlumiger Katheter (7–10 cm lang), der

häufig in die Vena jugularis externa/interna oder femoralis eingebracht wird. Indikationen:

  - invasive, transvasale Diagnostik oder Intervention
  - zur Anlage eines Pulmonalarterienkatheters
  - großer Volumenbedarf

- Ein **Shaldon-Katheter** ist doppellumig mit mehreren distalen Öffnungen eines Lumens und wird für akute Nierenersatz-/Blutreinigungs-Verfahren verwendet. Indikationen:
  - Akutdialyse
  - Shuntverschluss
  - Plasmapherese
  - akuter (großer) Volumenbedarf
- Zu den zentralvenösen Langzeit-Kathetern gehören der **Broviac-Hickman-Katheter** und der **Port** (Broviac dem Port vorzuziehen. Cave: Blutentnahmen über TPN-Katheter möglichst vermeiden, Infektionsrisiko!). Indikationen:
  - parenterale Ernährung
  - Chemotherapie
  - regelmäßige intravenöse Medikamentengabe
  - wiederholte Blutentnahmen oder Transfusionen
- Ein **Demerskatheter** ist ein venöser Zugang zur Dialyse, der meist operativ über die Vena jugularis externa gelegt wird.
- Ein **Nabelvenenkatheter** wird bei Neugeborenen in den ersten Lebenstagen gelegt, wenn ein anderer zentraler Venenzugang nicht möglich ist oder zu viel Manipulation bedeutet.
- Ein **PICC-Katheter** (Peripherally Inserted Central Catheter) weist eine Länge auf, die die Insertion in eine periphere Vene mit Vorschieben in eine zentralvenöse Position erlaubt.

Indikationen

> **Merke**
>
> Indikation sorgfältig stellen! Kurzfristig sind z.B. Vasopressorgaben auch über peripheren Venenzugang erlaubt.

- sicherer venöser Zugang zur Applikation von Notfallmedikamenten bei Intensivpatienten
- Messung des zentralen Venendrucks (ZVD)
- Messung der zentralvenösen Sauerstoffsättigung zur Abschätzung des Herzzeitvolumens (**cave:** korrekte Lage in der V. cava sup.)
- langzeitig erforderliche parenterale Ernährung oder Infusionstherapie
- langfristig erforderliche Chemotherapie
- Zufuhr venenwandreizender Medikamente
- schlechter peripherer Venenstatus
- häufige Blutentnahmen

Kontraindikationen

- Thrombozytopenie < 20000/µl oder fibrinolytische Therapie!
- Beim Legen eines zentralen Venenkatheters in V. subclavia oder V. jugularis int. kann die Punktionsstelle nicht komprimiert werden!
- Pathologien im Punktionsgebiet (z.B. lokale Infektion, Thrombose)

Cave

- Obere Einflussstauung (z.B. Mediastinaltumor, Thrombose)! Dann zuvor Gefäßdiagnostik oder V. femoralis-Zugang wählen.
- Kein V.-jugularis-ZVK bei erhöhtem oder drohend erhöhtem Hirndruck.

Aufklärung und spezielle Risiken

Spezielle Risiken:

- Blutung
- Infektion
- Thrombosen
- Pneumothorax
- intrapleurale Lage mit Infusothorax
- Verletzung des N. recurrens
- Horner-Syndrom
- arterielle Fehlpunktion
- Herzrhythmusstörungen

Anästhesie

Lokalanästhesie (z.B. EMLA-Salbe, Mepivacain 1 %), systemische Analgosedierung (z.B. Ketamin oder Propofol), kontinuierliche Überwachung der Respiration durch 2. Person und Pulsoxymetrie-/hämodynamisches Monitoring.

Personal, Material und Einstelltechnik

- Personal: mindestens eine Assistenzkraft
- verstellbares Patientenbett
- EKG-Monitoring und Sauerstoffsättigung (sättigungsmodifizierter QRS-Ton!).
- Beatmungsbeutel, Maske, Sauerstoffbrille und Sauerstoff bereithalten
- Sonografie-Gerät oder Gefäß-Doppler
- Venenkatheterset inkl. transparentem Pflaster, Nahtmaterial (Nadelhalter, Faden, Schere/ Skalpell), für Einschwemmkatheter bei Frühgeborenen feine sterile Pinzetten
- steriles Abdecklochtuch, ausreichend weitere sterile Abdecktücher, Mundschutz, sterile Handschuhe, steriler Mantel, Haube
- Desinfektionsmittel (z.B. Octenisept)
- als Spüllösung sterile NaCl 0,9 %-Lösung (für Frühgeborene in 2-ml-Spritze)

Abschätzung der erforderlichen Einführtiefe: es gibt keine zuverlässigen Formeln, daher am besten individuelle Abmessung (vor Desinfektion/sterilem Abdecken!).

Anatomie

Siehe Abb. 29.1.

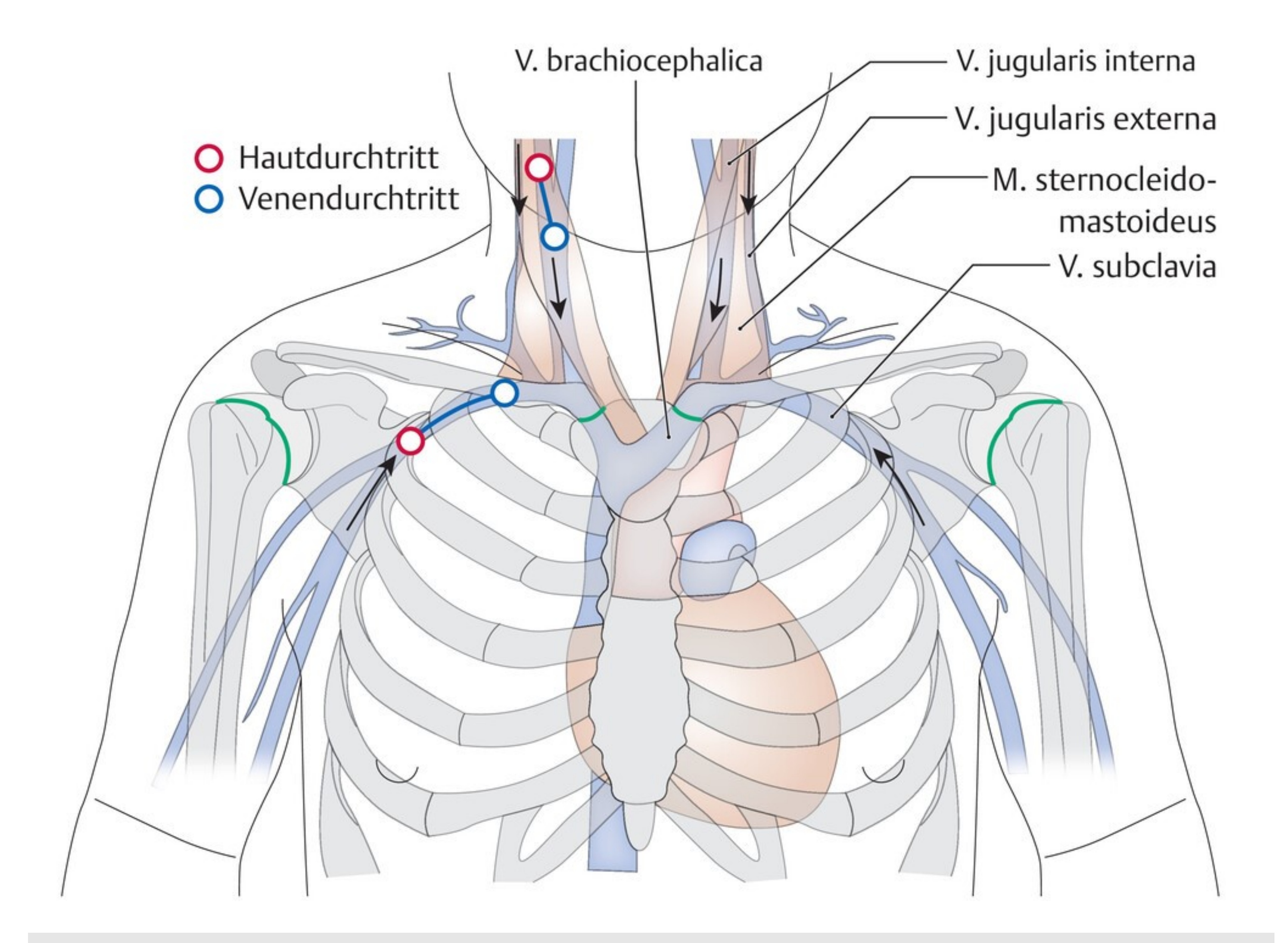


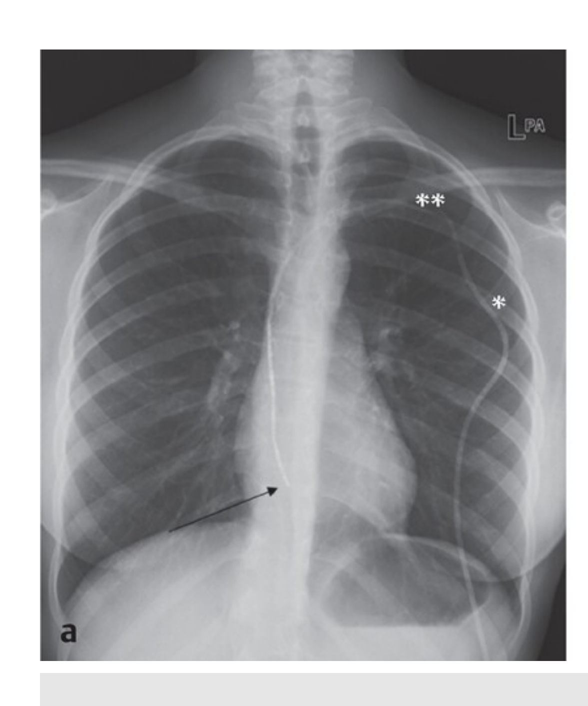
Abb. 29.1 Punktionsorte zum Einführen im Hals- und Thoraxbereich von zentralvenösen Kathetern.

Praxistipp

Bei allen Punktionsstellen ist die Lokalisierung mit Ultraschall bzw. Doppler-Sonde dringend empfohlen, da dieses Vorgehen signifikant nebenwirkungsärmer ist im Vergleich zur Landmark-Methode.

Durchführung

- **auf maximale Sterilität achten:**
  - Tragen von Mundschutz, Haube, sterilem Mantel, sterilen Handschuhen
  - weiträumiges Abdecken der Umgebung mit sterilem Tuch
  - Desinfektion mit Alkohol und sterilem Tupfer (Einwirkzeit mind. 30 Sekunden)
  - Ultraschall-Doppler-Sonde steril verpacken bzw. desinfizieren!
- **Lagerung:** vgl. Zugangswege
- **Vorgehen nach Seldinger-Technik** s. Tab. 29.1
- anschließend gute Fixation des Katheters durch Fixationsnaht und steriler Verband
- radiologische Lagekontrolle (Abb. 29.2) unmittelbar nach Legen des Katheters (idealerweise erfolgt die ZVK-Einbringung unter Bildwandler-Kontrolle); Kriterien zur Beurteilung der Katheterlage:
  - Verlauf
  - Katheterspitze. Optimal: Katheterspitze an der Einmündung der oberen Hohlvene (SVC) in den rechten Vorhof



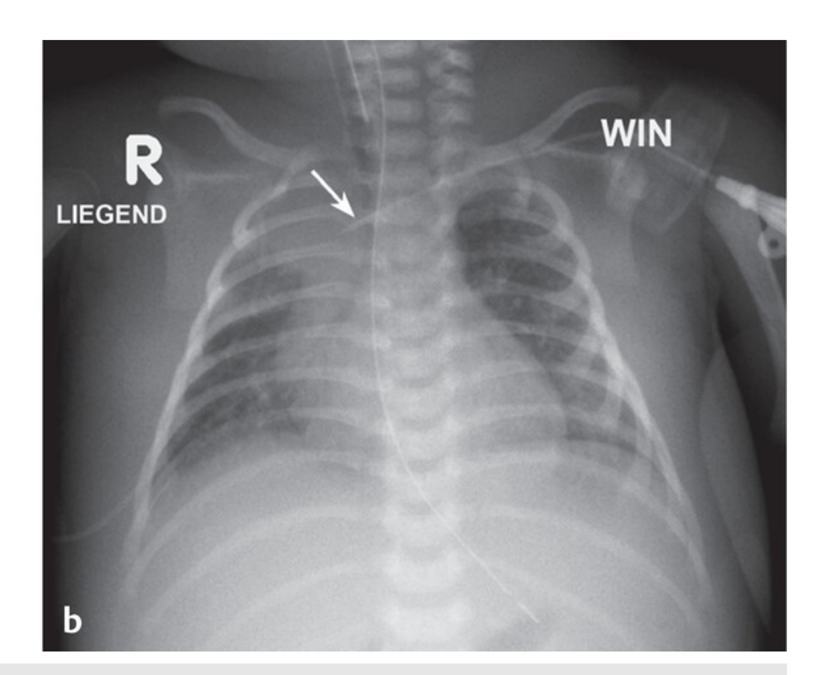


Abb. 29.2 Röntgen-Thoraxaufnahme zur Kontrolle der ZVK-Lage.

a ZVK liegt zu tief (Pfeil); von * bis ** subkutaner Verlauf (Broviac-Katheter), Maßnahme: Tab. 29.2

b ZVK liegt zu hoch (Pfeil), Spitze liegt etwa am Übergang der V. bronchiocephalica in die V. cava superior, Maßnahme: Tab. 29.2

(Quelle: Kerbl R, Kurz R, Roos R, Wessel L, Reiter K. Praktische Durchführung. In: Kerbl R, Kurz R, Roos R, Wessel L, Reiter K, Hrsg. Checkliste Pädiatrie. 5., vollständig aktualisierte Auflage. Thieme; 2015.)

(Quelle: Kerbl R, Kurz R, Roos R, Wessel L, Reiter K. Praktische Durchführung. In: Kerbl R, Kurz R, Roos R, Wessel L, Reiter K, Hrsg. Checkliste Pädiatrie. 5., vollständig aktualisierte Auflage. Thieme; 2015.)

Tab. 29.1 ZVK-Implantation (Seldinger-Technik).

Seldinger-Technik	Beschreibung
1	Punktion der Vene mit angesetzter Spritze (etwa zu ⅔ mit NaCl 0,9 % gefüllt)
2	Aspiration von Blut (falls keine Aspiration möglich, Nadel unter Aspiration langsam zurückziehen, evtl. neu stechen)
3	Spritze abziehen (**cave:** Luftembolie! Evtl. Nadelöffnung mit Daumen abdecken) Seldinger-Draht einführen
4	Seldinger-Draht vorsichtig vorschieben im rechten Vorhof durch Berührung Extrasystolen → etwas zurückziehen
5	Nadel vorsichtig herausziehen, Führungsdraht bleibt in situ
6	Katheter über Führungsdraht einführen (vorher Länge abschätzen!)
7	Führungsdraht entfernen (**cave:** wieder Luftembolie!)
8	Spritze mit NaCl 0,9 % ansetzen, Blut aspirieren und dann mit Heparinlösung Katheter spülen → Röntgen-Kontrolle → Katheter verschließen oder Infusion anhängen → System steril verbinden

Zugangswege

- Am häufigsten werden die V. jugularis int. und die V. femoralis verwendet.
- Bei vorliegendem Schock sollte immer an einen intraossären Zugang gedacht werden, der funktionell einem ZVK entspricht.

Vena jugularis interna

- *Vorteil:* relativ geringe Komplikationsrate, per Ultraschall gut darstellbar, kurzer, großlumiger Katheter verwendbar (geringer Widerstand!), geringe Mobilitätseinschränkung des Kindes.
- *Lagerung und Punktion:* in Kopftieflage lagern (bessere Venenfüllung, Verhinderung einer Luftembolie), oberen Thorax unterlagern (Polster, Tuchrolle), Kopf überstrecken, Gesicht zur Gegenseite drehen. Punktion in etwa 45° zur Hautoberfläche lateral der palpierten A. carotis, besser unter sonografischer Leitung der Nadel, in Höhe des Kehlkopfes; alternativ tiefer Zugang zwischen den beiden Schenkeln des M. sternocleidomastoideus. Oft wird die V. jugularis interna zunächst durchstochen, erst beim Zurückziehen der Nadel (ständiger Aspirationsversuch) kommt Blut.

Vena jugularis externa

- *Vorteil:* relativ einfache Punktionstechnik, häufig noch zugänglich, auch bei Patienten mit Hypovolämie (evtl. Stauen durch Kompression der Vene am Oberrand der Klavikula). Punktion auch mit normaler Venenverweilkanüle möglich.
- *Nachteil:* Beim Vorschieben des Katheters bleibt dieser häufig beim Eintritt in die V. subclavia hängen („halbzentrale Lage").
- *Lagerung und Punktion:* Lagerung wie bei V. jugularis interna. Die V. jugularis externa findet sich oberhalb der Klavikula, meist etwas lateral des M. sternocleidomastoideus. In flachem Winkel einstechen.

Vena femoralis

- *Vorteil:* keine Manipulation im Kopf-Hals-Bereich bei nicht intubiertem, respiratorisch instabilem Kind, keine Abflussbehinderung aus ZNS
- *Nachteil:* etwas höheres Infektionsrisiko durch mögliche Kontamination mit Harn und Stuhl. Ggf. Blasenkatheter legen.

> **Praxistipp**
>
> Bei geplanter Herzkatheteruntersuchung Femoralvene nach Möglichkeit dafür „schonen".

- *Durchführung:* Bein nach außen rotieren, Vene und Arterie mit Ultraschall oder palpatorisch lokalisieren und medial der Arterie mit etwas Abstand zum Leistenband einstechen.

> **Merke**
>
> Lage von Nerven und Gefäßen: von medial nach lateral Vene, Arterie, Nerv (Innen – Vene – Arterie – Nerv: IVAN).

Vena cubitalis

- *Indikation:* vor allem bei Neu- und Frühgeborenen mit Einschwemmkatheter (Silastikkatheter), inzwischen auch häufiger in der Pädiatrie verwendet (PICC = peripherally inserted central venous catheter)
- *Vorteil:* einfacher, komplikationsarmer Zugang
- *Nachteile:* nicht selten Thrombose der Kubitalvene. Katheter nimmt falschen Weg (Gegenseite, Stopp auf Schulterhöhe, Verlauf nach kranial)
- *Durchführung:* Arm in Extension fixieren, Identifikation der Vene mit Ultraschall

Vena subclavia

- *Vorteile:* rasche Punktion, auch bei Schock zugänglich, keine Einschränkung der

Beweglichkeit des Patienten

- *Nachteile:* beim Säugling schwierig zu legen (Punktion unter Ultraschallkontrolle empfohlen). Keine lokale Kompression bei Blutung möglich. Erhöhte Gefahr von Pneumothorax, Hämatothorax und Infusothorax, vor allem bei beatmeten Patienten. Vorsicht auch bei pulmonalen bzw. thorakalen Prozessen (z.B. Lymphom).
- *Lagerung und Punktion:* flache Rückenlage mit Unterpolsterung der BWS, Wendung des Kopfes zur Gegenseite. Nadel in Klavikulamitte einführen und in Richtung auf den Oberrand des Sternoklavikulargelenkes streng am Unterrand der Clavicula in flachem Winkel entlang vorschieben.

Mögliche Komplikationen

Siehe Tab. 29.2.

Tab. 29.2 Mögliche Komplikationen beim Legen eines zentralen Venenkatheters, Symptome und notwendige Maßnahmen.

Komplikation	Symptome	Anmerkungen/Maßnahmen
Verletzung benachbarter Arterien	• Aspiration von arteriellem Blut (im Zweifelsfall Blutgasanalyse und pO_2-Bestimmung oder Druckmessung anlegen) • Blutung • Hämatombildung • Hämatothorax, Hämatomediastinum	• sehr selten bei ultraschallgesteuertem Vorgehen! • Kompression (wo möglich) • engmaschige Blutdruck- und Hämatokritkontrolle • bei thorakaler Lage Röntgenkontrolle, Monitoring • Pleuradrainage bei Hämatothorax • sehr selten chirurgische Intervention erforderlich
Verletzung von Pleura und/oder Lunge (und nachfolgender Pneumothorax oder Infusothorax)	• Husten • Dyspnoe • einseitige Thoraxexkursionen • seitendifferenter Auskultationsbefund	• bei Mantelpneumothorax abwartend (klinische und Röntgenkontrolle) • bei ausgeprägtem Pneumo- bzw. Infusothorax evtl. einmaliges Abpunktieren von Luft bzw. Flüssigkeit ausreichend; ansonsten Anlegen einer Thorax-Saugdrainage erforderlich (bei beatmeten Kindern und Pneumothorax immer notwendig) • bei Infusothorax Entfernung des ZVK
Katheterfehllage:		
• **Subclavia-Katheter in V. jugularis, Halsgefäßen oder V. axillaris der Gegenseite, V. cava inf.**	akut sind keine Komplikationen zu erwarten, jedoch besteht ein erhöhtes Thromboserisiko für das betroffene Gefäß	• Katheter kann bei dringlicher Indikation verbleiben, jedoch regelmäßige Kontrolle auf Durchgängigkeit (Aspiration, Spülung, evtl. Doppler-Sono); manchmal schlägt der Katheter von selbst in die richtige Position um • bei Langzeitkathetern sollte der Katheter neu platziert werden
• **zu tief im rechten Vorhof (evtl. mit Herzrhythmusstörungen, Herzwandperforation und Herzbeuteltamponade)**	je nach Komplikation Herzrhythmusstörung (Extrasystolen, Tachykardie) bzw. Zeichen einer verminderten Ventrikelfunktion (Low Cardiac Output)	je nach Komplikation Katheter zurückziehen bzw. (bei Perforation und Herzbeuteltamponade) notfallmäßige Herzbeutelpunktion und ggf. kardiochirurgische Intervention
Katheterinfektion	• Fieber • evtl. nicht oder schlecht spülbarer ZVK (bei infiziertem Thrombus) • erhöhte	• Blutkultur aus Katheter (alle Lumina!) und optimal zeitgleich anderer Vene • i.v. Antibiotika: wenn möglich alle Lumina abwechselnd dafür

DD = Differenzialdiagnose, KM = Kontrastmittel, LMW = low molecular weight kininogen, rTPA = recombinant tissue plasminogen activator, ZVK = Zentralvenenkatheter.

Komplikation	Symptome	Anmerkungen/Maßnahmen
	Entzündungsparameter • evtl. Rötung um die Eintrittsstelle • schmerzhafte Palpation im Katheterverlauf	benützen, unbedingt grampositive Abdeckung • ZVK entfernen bei fulminanter ZVK-assoziierter is oder fehlendem Ansprechen, auch abhängig von nachgewiesenem Keim
Thrombose	• keine Aspiration und Spülung möglich • ist die Spülung (aber nicht die Aspiration) möglich, weist dies eher auf einen flottierenden Thrombus an der Katheterspitze hin • DD Fehllage	• Diagnostik: Ultraschall, evtl. KM-Darstellung • Versuch einer Thrombusauflösung (rTPA-Lösung einspritzen, Menge entsprechend Lumenvolumen, Katheter 1 h blocken, dann Aspiration) • wenn möglich Versuch der Heparinisierung mit LMW-Heparin, tägliches Monitoring • Expertenkonsil: lokale Lyse? ZVK-Entfernung bei Persistenz: Emboliegefahr?
Luftembolie (zur Prophylaxe bei Punktion herznaher Venen prinzipiell Kopftieflage)	• hörbares Luftansauggeräusch durch Nadel bzw. Katheter • Dyspnoe • Zyanose • evtl. Bewusstlosigkeit	• sofortiger Verschluss/Zuhalten der Nadel bzw. des Katheters • bei klinischer Symptomatik Sauerstoffabgabe über Maske bzw. Nasenbrille • bei massiver Luftembolie und möglichem Re-Li-Shunt Notfall-CT kraniell und evtl. hyperbare O_2-Therapie
beschädigter oder dislozierter ZVK	• Paravasat im Halsbereich kann zu Nekrosen führen • Infusothorax	• Stoppen der Infusion • Wechsel des Katheters

DD = Differenzialdiagnose, KM = Kontrastmittel, LMW = low molecular weight kininogen, rTPA = recombinant tissue plasminogen activator, ZVK = Zentralvenenkatheter.

Dokumentation

Auf vollständige Dokumentation achten:

- Wann wurde der ZVK gelegt?
- Wieviel cm wurde vorgeschoben?
- Welche Größe/Lumenanzahl wurde verwendet?

Postoperatives/postinterventionelles Management

- täglich:
  - Überprüfung, ob Katheter weiterhin benötigt wird
  - Überprüfung, ob Eintrittsstelle sich infiziert (Rötung, Schwellung)
  - Wechseln von Schlauchsystem, Verschlusskappen und Dreiwegehähnen
- alle 2–3 Tage Verbandswechsel
- hygienisch einwandfreies Arbeiten beim Zuspritzen und Wechseln der Infusionsleitungen

Praxistipp

Vorgehen bei Thrombosierung

Es ist nicht erwiesen, dass der Zusatz von 1 IE Heparin/ml Infusionslösung das Thrombose- oder Infektionsrisiko senkt. Sollte ein Katheter thrombosiert sein, kein gewaltsames Anspülen! In diesem Fall kann – insbesondere bei Langzeit-Katheter (Broviac) – ein Lyse-Versuch mit rTPA (Actilyse) unternommen werden: 0,5 mg rTPA auf 0,5 ml NaCl 0,9 % (Menge entsprechend dem Volumen des jeweiligen Lumens!) einspritzen, Katheter für 1 h verschließen, dann Lösung abziehen und Blutaspiration versuchen (s. auch Tab. 29.2).

Vorgehen bei nicht-thrombotischer Obstruktion:

- Katheter abgeknickt/verdrillt?
- Versuch möglicher Kristallauflösung mit 70% Alkohol (nicht bei Broviac-Hickman-Kathetern, schädigt Kathetermaterial)
- Argininhydrochlorid oder 0,1 N HCl-Lösung

Literatur

Literatur zur weiteren Vertiefung

- [1] Ullman AJ, Gibson V, Takashima MD et al. Pediatric central venous access devices: practice, performance, and costs. Pediatr Res. 2022; 92 (5): 1381–1390
- [2] Zhang JJ, Nataraja RM, Lynch A et al. Factors affecting mechanical complications of central venous access devices in children. Pediatr Surg Int 2022; 38 (7): 1067–1073

Intraossärer Zugang

Karl Reiter, Boris Barbarics

Steckbrief

In Notfallsituationen ist der intraossäre Zugang am medialen Rand der proximalen Tibia der häufig am schnellsten zu bewerkstelligende Zugang zur intravasalen Applikation aller in der Notfallsituation notwendigen Medikamente und Infusionen. Er ist damit ein Standardzugang in der Reanimation und eine gute temporäre Alternative zu einem zentralen venösen Zugang. Mögliche weitere Punktionsorte sind die distale Tibia, der distale Femur, der proximale Humerus und der Beckenkamm. Am effektivsten ist dieser Zugang bei Säuglingen und Kindern aufgrund der altersgebundenen guten Perfusion des Knochenmarks, kann jedoch auch bei erwachsenen Patienten noch praktikabel sein [1].

Synonyme

- i.o.-Zugang
- Intraosseous access
- Intraosseous infusion

Keywords

- intravaskulärer Zugang
- Reanimation

Definition

Punktion des Knochens mit einer Kanüle zur Applikation von Infusionen oder Medikamenten in eine gut perfundierte Knochenmarkshöhle.

Einordnung der Methode im Vergleich zu weiteren Methoden

- Vor allem bei Kleinkindern ist in der präklinischen Notfallversorgung die Punktion einer peripheren Vene aufgrund einer Schocksymptomatik oft unmöglich und das Legen eines zentralen Katheters zu gefährlich oder zu zeitraubend.
- Erfolg der Platzierung mit Zugang zum Gefäßsystem unabhängig vom Perfusionszustand
- daher Standardzugang in der pädiatrischen Reanimation oder schweren Schockzuständen, wenn kein sofortiger anderweitiger Gefäßzugang gelingt
- sehr gut definierte knöcherne Landmarks, hohe Trefferquote

- deutlich geringere Komplikationsrate im Vergleich zu einer ZVK-Anlage (ZVK = Zentralvenenkatheter)

Indikationen

- Notfallversorgung!
- Reanimation, Schock

Kontraindikationen

- Fraktur im vorgesehenen Punktionsbereich
- wacher, nicht analgesierter Patient
- empfohlene maximal mögliche Liegedauer bis zu zwei Tagen

Aufklärung und spezielle Risiken

Der intraossäre Zugang ist einer absoluten Notfallsituation vorbehalten.

Geringes bzw. seltenes Komplikationsrisiko:

- Kompartmentsyndrom
- Osteomyelitis

Anästhesie

Bei nicht tief komatösen Patienten Analgesie erforderlich:

- Lidocain über liegende i.o.-Nadel (Medikamentengabe und Infusion sind schmerzhaft)
- systemisch intranasales Fentanyl oder Ketamin

Personal, Material und Einstelltechnik

- intraossäre Nadeln mit Mandrin und großem Widerlager, notfalls 16- bis 18-G-Stahlnadeln (Strauss-Kanülen)
- besser spezielle Bohrmaschine, altersadaptierte Nadelgrößen
- NaCl 0,9 % a 10 ml (zur Probeaspiration nach Legen), Infusionlösung, Dreiwegehahn, sterile Handschuhe, Kompressen, Desinfektions- und Fixierungsmaterial

Anatomie

Proximale Tibiametaphyse medial der Tuberositas tibiae an der Innenseite des Unterschenkels: Tuberositas tibiae tasten – 2 Querfinger nach distal, dann 2 Querfinger nach medial findet sich das Plateau der proximalen Tibiametaphyse.

> **Cave**
>
> Punktion muss nach dorsokaudal geführt werden, um die Wachstumsfuge nicht zu verletzen.

Weitere mögliche Punktionsorte:

- proximaler Humerus
- distaler Femur
- medialer Malleolus tibialis
- Beckenkamm

Durchführung

- Punktionsstelle: ca. 2 cm unterhalb der Tuberositas tibiae an der medialen planen Tibiavorderfläche, alternativ Malleolus medialis der Tibia, distaler Femur, proximaler Humerus (Abb. 30.1).

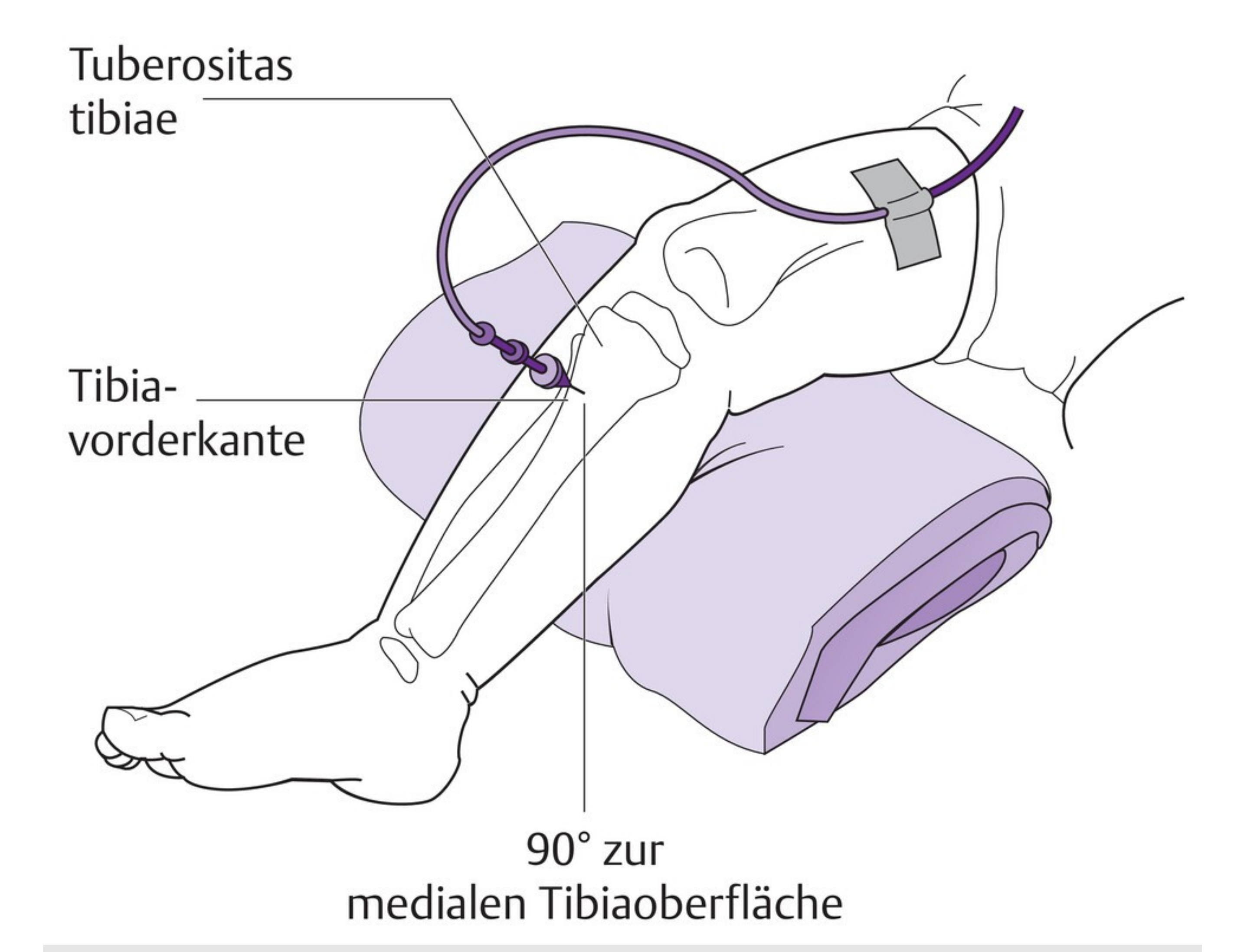


Abb. 30.1 Punktionsstelle für intraossären Zugang.

(Quelle: Kerbl R, Kurz R, Roos R, Wessel L, Reiter K. Durchführung. In: Kerbl R, Kurz R, Roos R, Wessel L, Reiter K, Hrsg. Checkliste Pädiatrie. 5., vollständig aktualisierte Auflage. Stuttgart: Thieme; 2015.)

(Quelle: Kerbl R, Kurz R, Roos R, Wessel L, Reiter K. Durchführung. In: Kerbl R, Kurz R, Roos R, Wessel L, Reiter K, Hrsg. Checkliste Pädiatrie. 5., vollständig aktualisierte Auflage. Stuttgart: Thieme; 2015.)

- Bein im Kniegelenk strecken und Sandsack unter das Knie legen
- sorgfältige Desinfektion, Punktionsstelle falls Zeit steril abkleben
- intraossäre Nadel senkrecht bis leicht zum Fuß hin abgewinkelt (Δ 10–15°) aufsetzen
- mit batteriebetriebenem Bohrer: plötzlicher Widerstandverlust nach Durchtritt durch Kortikalis merkbar
- manuell: Nadel langsam mit drehender Bewegung und zunehmendem Druck durch die Kortikalis bis in das Knochenmark (der Widerstand lässt plötzlich nach) bohren
- Bei Erfolg ist Aspiration des dunkelroten Knochenmarks möglich.
- Die Nadel sitzt fest ohne jede laterale Bewegungsmöglichkeit.
- Anschluss Dreiwegehahn und der Infusionslösung bzw. Applikation der Notfallmedikamente
- bei fehlendem Effekt Lagekontrolle: Nadel disloziert? Zunehmende Weichteilschwellung z.B. bei zu tiefer Platzierung (Perforation der hinteren Corticalis)?
- Ggf. besteht ein hoher Druck im Markraum von ca. 20–30 mmHg, so dass eine Druckinfusion oder manuelle Applikation erforderlich ist. Häufig bringen Perfusoren/ Infusomaten den nötigen Druck nicht auf.
- Bei der Entnahme von Blutproben sollten die ersten 2 ml verworfen werden. Alle relevanten Blutwerte sind bestimmbar, die zuverlässigsten Werte ergeben AB0-Typisierung, pH und Natrium, etwas weniger zuverlässig sind Blutzucker- und Bikarbonatmessungen.

Praxistipp

Bei wachen Patienten vor Beginn sonstiger Infusionen Lidocain (Xylocain) 1 mg/kg KG intraossär zur Analgesie.

Mögliche Komplikationen

- Infektion (Osteomyelitis, Weichteilinfektion); die Infektionsgefahr ist allerdings gering
- bei Fehllage (Perforation der posterioren Kortikalis oder zu oberflächlich) Infusion ins Weichteilgewebe: v.a. fehlender Effekt der Medikamentengabe; ein Kompartmentsyndrom mit Nekrose der Muskulatur wurde sehr selten beschrieben
- Verletzung der Wachstumsfuge

Literatur

Quellenangaben

- [1] Leidel BA, Kirchhoff C, Bogner V et al. Comparison of intraosseous versus central venous vascular access in adults under resuscitation in the emergency department with inaccessible peripheral veins. Resuscitation 2012; 83 (1): 40–45

Literatur zur weiteren Vertiefung

- [1] Bielski K, Szarpak L, Smereka J et al. Comparison of four different intraosseous access devices during simulated pediatric resuscitation. a randomized crossover manikin trial. Eur J Pediatr 2017; 176: 865–871
- [2] Pifko EL, Price A, Busch C et al. Observational review of paediatric intraosseous needle placement in the paediatric emergency department. J Paediatr Child Health 2018; 54: 546–550

Pleurapunktion

Boris Barbarics, Karl Reiter

Steckbrief

Bei einer Pleurapunktion wird mit einer Hohlnadel der Pleuraspalt zwischen Rippenfell und Lungenfell punktiert, um die dort angesammelte Flüssigkeit oder Luft zu drainieren. Dies dient diagnostischen Zwecken und/oder zur Entlastung der Lunge. In der Regel wird eine Plastik-Verweilkanüle platziert, im Vergleich zur Thoraxdrainage wird jedoch kein bleibender Ablaufschlauch angelegt.

Die geeignete Punktionsstelle hängt von Dringlichkeit und Art des klinischen Problems ab: bei Vorliegen eines Spannungspneumothorax ist die Punktion im 2. ICR in der Medioklavikularlinie als erste Notfallmaßnahme empfohlen [1], [2]; neuere Untersuchungen zeigen jedoch, dass die Erfolgsrate höher und Komplikationen bei Eingehen in der vorderen Axillarlinie im 4. ICR geringer sind. Zur Punktion eines Pleuraergusses sollte per Ultraschalluntersuchung die optimale Lokalisation ausgemacht werden. In der Regel wird in der mittleren bis hinteren Axillarlinie am Oberrand der entsprechenden Rippe eingegangen (die Interkostalgefäße verlaufen hier am Unterrand der Rippe!).

Synonyme

Thorakozentese

Keywords

- Pneumothorax
- Pleuraerguss
- Pleurapunktion
- Pleuradrainage

Definition

Bei einer Pleurapunktion wird der Pleuraspalt zwischen Rippenfell und Lungenfell mittels Hohlnadel oder Verweilkanüle punktiert, um die dort angesammelte Flüssigkeit oder Luft zu drainieren.

Einordnung der Methode im Vergleich zu weiteren Methoden

Das Legen einer **Pleuradrainage,** die über längere Zeit belassen werden kann, ist in folgenden Situationen einer bloßen Punktion in der Regel überlegen:

- bei großen Ergüssen: ein Ablassen von >15 ml/kg Flüssigkeit in kurzer Zeit hat ein hohes Risiko hämodynamischer und respiratorischer Komplikationen, daher besser Drainage über mehrere Stunden oder intermittierend
- bei Krankheitsprozessen mit anzunehmender Weiterproduktion von relevanten Ergussmengen oder persistierendem Pneumothorax
- bei Pleuraempyem: mehrfache Instillation von u.a. Fibrinolytika indiziert
- bessere Fixierungsmöglichkeit und deutlich geringere Gefahr des Abknickens des Katheters

Die **Pleurapunktion** weist ein geringeres Infektionsrisiko im Vergleich zur Drainage auf, überdies werden persistierende katheterbezogene Schmerzen vermieden. Vorteile in folgenden Situationen:

- zur Diagnostik bei wenig symptomatischen Ergüssen
- als Notfallmaßnahme bei Spannungspneumothorax
- bei primärem Spontanpneumothorax (da meist eine einmalige Punktion therapeutisch ausreicht)

Indikationen

- Akutentlastung eines Spannungspneumothorax
- primärer Spontanpneumothorax
- diagnostisch zur Klärung der Ursache eines Pleuraergusses (Transsudat/Exsudat/Chylothorax/Hämatothorax, Erregersuche u.a.)

Kontraindikationen

Relative Kontraindikationen:

- Thrombopenie < 20000/µl
- fibrinolytische Therapie oder Antikoagulation

In diesen Situationen dünne Nadel verwenden

Es sollte nicht durch ein infiziertes Hautareal punktiert werden.

Aufklärung und spezielle Risiken

Spezielle Risiken:

- Infektion
- Pneumothorax
- Hämatothorax durch Verletzung von Blutgefäßen oder Lunge
- Verletzung von Milz, Leber oder Herz

Anästhesie

- Lokalanästhesie, z.B. Mepivacain
- ggf. Sedativum, z.B. Midazolam 0,05–0,1mg/kg KG; 1–2 mg Propofol/kg KG als Bolus, Esketamin 0,25–0,5 mg/kg KG, ggf. wiederholen

Personal, Material und Einstelltechnik

- eine Assistenzkraft
- Sonografiegerät
- Monitoring: EKG, Blutdruck und pulsoximetrische Sauerstoffsättigung (QRS-Ton anmachen!)
- Beatmungsbeutel, Sauerstoffbrille und Sauerstoff bereithalten
- Desinfektionsmittel, sterile Handschuhe, Haube, Mundschutz, steriler Kittel
- steriles Abdecktuch (Lochtuch), sterile Kompressen, Pflaster
- Einmalnadel oder (besser) Verweilkanüle (insbesondere bei zu erwartendem dickflüssigem

Inhalt, z.B. Eiter, keine zu dünne Nadeln verwenden!), 10-ml-Spritze mit NaCl 0,9 % halb vorgefüllt, weitere leere 10-/20-ml-Spritzen, evtl. Dreiwegehahn

- sterile Behälter

Vorbereitung

- Sonografie: Quantifikation und Lokalisation des Ergusses (Septierung?), Markierung der optimalen Punktionsstelle
- Röntgen-Thorax: Quantifikation und Lokalisation des Ergusses/Pneumothorax
- aktuelles Labor: BB, Gerinnung

Anatomie

Die Interkostalgefäße verlaufen am Unterrand der Rippen (außer im paravertebralen Bereich), Abb. 31.1. Deshalb sollte immer am Oberrand der Rippe punktiert werden, Abb. 31.2.

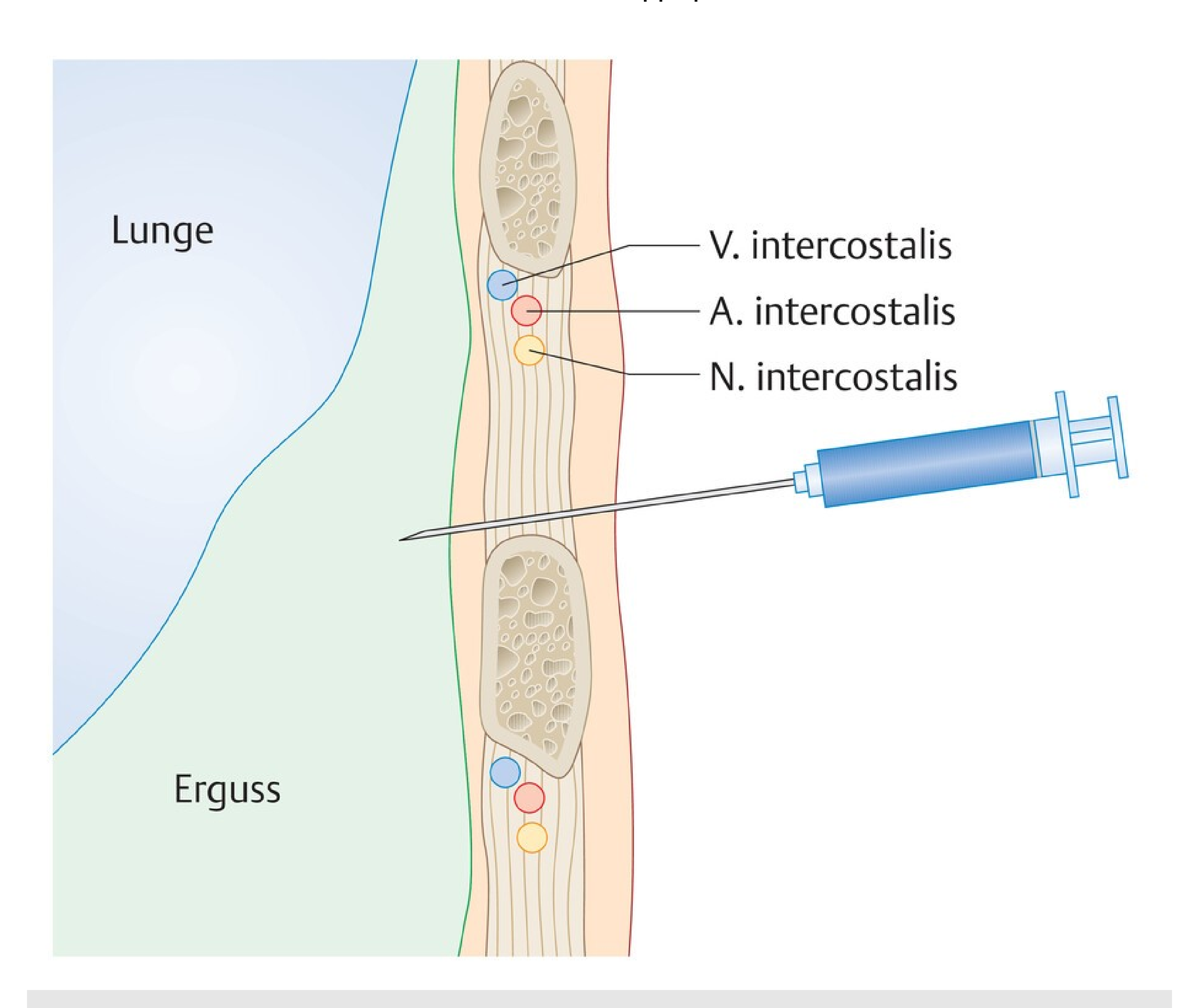


Abb. 31.1 Pleuraspalt und Gefäßverlauf.

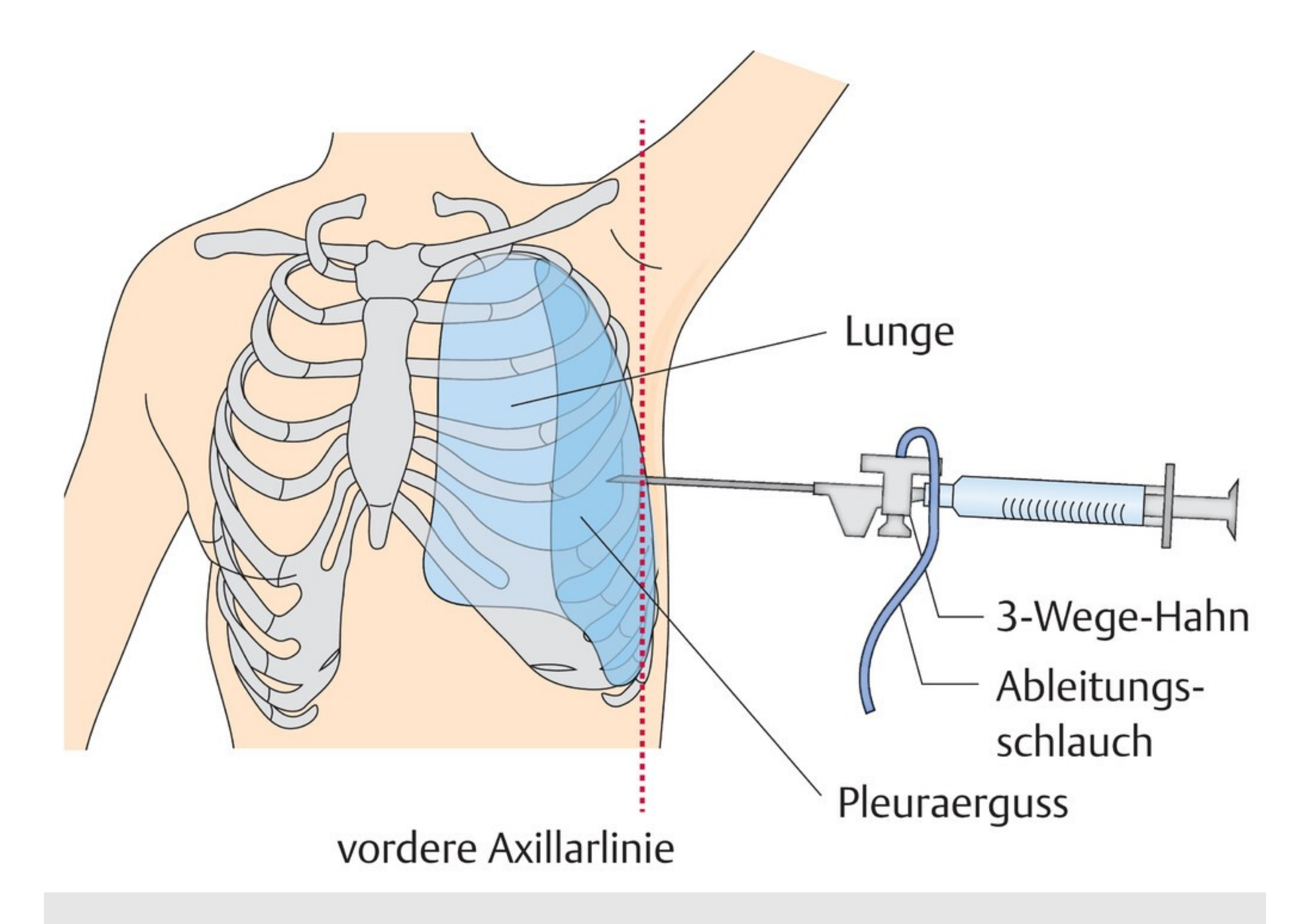


Abb. 31.2 Typische Punktionsstelle (V. Intercostalraum in der vorderen Axillarlinie) und -technik einer Pleurapunktion zur Ergussdrainage. Der optimale Punktionsort kann davon variieren je nach Ergusslokalisierung mittels Ultraschall.

Durchführung

- Monitoring anbringen: EKG, Blutdruck (3-minütige Messung) und pulsoximetrische Sauerstoffsättigung (QRS-Ton anmachen!)
- i.v. Zugang kontrollieren bzw. anlegen
- Punktionsstelle:
  - Pleuraerguss: 5.–7. ICR (Interkostalraum) in der hinteren Axillarlinie; nach Möglichkeit Lage des Ergusses sonografisch überprüfen und Punktionsort festlegen
  - Pneumothorax: Notfall: 2. ICR in MCL (Medioklavikularlinie). Die 2. Rippe ist hier die erste tastbare unter der Klavikula! Großlumige Kanüle verwenden!

Cave

Unterhalb des 6.–7. ICR befinden sich beim Gesunden Leber oder Milz. Beide können deutlich höher stehen!

- bei Erguss nach Möglichkeit ultraschallgezielt (v.a. bei gekammertem Erguss)
- Lagerung bei Pleuraerguss: sitzende Position, wenn toleriert, ansonsten Rückenlage, nicht betroffene Seite etwas erhöht
- Hautareal desinfizieren
- sterile Bekleidung, Mundschutz, Haube und steriles Abdecken
- Lokalanästhesie mit dünner Nadel (27–30 G [Gauge]) am Oberrand einer Rippe unter wechselnd Aspiration und Einspritzen bis Eindringen in Pleuraraum
- Nadel immer senkrecht auf Thoraxoberfläche halten, keine schräge Stichrichtung!
- identischer Einstich und Vorschieben der Verweilkanüle wie zuvor zur Lokalanästhesie am Oberrand einer Rippe (Interkostalgefäße laufen am Unterrand)
- bei Anlegen einer Dauerdrainage Z-artig vorgehen: Eingehen auf die Rippe, Parallelverschiebung der Nadel bis Oberrand der Rippe, dann tiefer gehen
- nach Durchstechen der Thoraxwand Mandrin zurückziehen, Verweilkanüle vorsichtig weiter vorschieben
- evtl. Ansetzen eines Dreiwegehahns
- Abziehen von Luft (bei Pneumothorax) bzw. Flüssigkeit (bei Pleuraerguss max. 15 ml/kg

KG)

- Verweilkanüle entfernen, steriler Verband

> **Praxistipp**
>
> Eine Verweilkanüle kann bei entsprechender Indikation auch einige Stunden verbleiben, z.B. wenn die Nachbildung von Flüssigkeit bzw. Luft nicht abzuschätzen ist. In diesem Fall jedoch gute Fixation und sicherer Verschluss! Besser: Drainage legen, Verweilkanüle knickt meistens.

- Auskultations-Kontrolle, Röntgen- bzw. Sonografie-Kontrolle

Mögliche Komplikationen

- Infektion
- Pneumothorax
- Hämatothorax durch Verletzung von Blutgefäßen oder Lunge
- Hämatoperitoneum durch Verletzung von Milz oder Leber
- kardiale Verletzung, Hämoperikard

Postoperatives/postinterventionelles Management

Nach der Punktion sollte immer eine bildgebende Kontrolle durch Sonografie oder Röntgen erfolgen.

Ergebnisse

Analyse des Pleurapunktats

Auswahl (je nach klinischer Situation):

- **Mikrobiologie:** Kultur, PCR (Polymerasekettenreaktion), ggf. Gram-Färbung
- **Klinische Chemie:**
  - Blutbild
  - Zellzahl, Laktat und Glukose
  - Gesamteiweiß, LDH (Laktatdehydrogenase)
  - Cholesterin, Triglyzeride
  - Amylase, Lipase
  - NT-proBNP (N-terminales proBNP [brain natriuretic peptide])
  - Tumormarker
  - pH-Wert
- **Pathologie:** Zytologie (Tumorzellen?)

Unterscheidung Transsudat und Exsudat Tab. 31.1.

Differenzierung des Pleurapunktats nach Befunden Tab. 31.2

Tab. 31.1 Pleurapunktat: Unterscheidung Transsudat und Exsudat.

Parameter	Transsudat	Exsudat
Gesamteiweiß	< 3 g/dl	> 3 g/dl
spezifisches Gewicht	< 1016	> 1016
LDH	< 200 U/l	> 200 U/l
Eiweiß Pleura/Serum	< 0,5	> 0,5
LDH Pleura/Serum	< 0,6	> 0,6; bei Malignom häufig > 1
LDH Pleura	> 2×	< 2× oberer Serum-Normwert
Farbe	hell, klar, gelb	evtl. trüb, schaumig

Tab. 31.2 Differenzierung des Pleurapunktats nach Befunden.

	Farbe	Labor

	Farbe	Labor
unkomplizierter Pleuraerguss	klar, gelblich	pH > 7,3, Transsudat, klinische Chemie s. Tab. 32.1
Chylothorax	milchig	Chylomikronen nachweisbar (wenn enteral ernährt!), Triglyzeride 4–5 g/l, Protein 20–60 g/l
Pleuraempyem	trüb, eitrig	pH < 7,1, Exsudat, in Kultur, PCR, Mikroskopie bakterielle Erreger nachweisbar
Tbc	evtl. blutig	Exsudat, Kultur, PCR
Hämatothorax	blutig	Hb, Erythrozyten
maligner Pleuraerguss	unspezifisch	Zytopathologie

Literatur

Quellenangaben

- [1] Leonhard G, Overhoff D, Wessel L et al. Determining optimal needle size for decompression of tension pneumothorax in children - a CT-based study. Scand J Trauma Resusc Emerg Med 2019; 27(1): 90
- [2] Terboven T, Leonhard G, Wessel L et al. Chest wall thickness and depth to vital structures in paediatric patients - implications for prehospital needle decompression of tension pneumothorax. Scand J Trauma Resusc Emerg Med 2019; 27(1): 45

Literatur zur weiteren Vertiefung

- [1] Jany B, Welte T. Pleural effusion in adults – etiology, diagnosis, and treatment. Dtsch Arztebl Int 2019; 116: 377–386. DOI: 10.3238/arztebl.2019
- [2] McGrath EE, Anderson PB. Diagnosis of pleural effusion: a systematic approach. Am J Crit Care 2011; 20 (2): 119–127. DOI: 10.4037/ajcc2011685. PMID: 21362716.
- [3] Segura RM. Useful clinical biological markers in diagnosis of pleural effusions in children. Paediatr Respir Rev 2004; 5 (Suppl A): S205–S212. DOI: 10.1016/s1526–0542(04)90039–5. PMID: 14980272

Thoraxdrainage

Boris Barbarics, Karl Reiter

Steckbrief

Eine Thoraxdrainage wird zur ätiologischen Diagnostik und/oder zur Entlastung eines Pleuraergusses, zur postoperativen Wunddrainage oder Therapie eines Pneumothorax angelegt.

Ein Pleuraerguss wird in der Pädiatrie überwiegend durch Infektionen verursacht (parapneumonischer Erguss oder Empyem), deutlich seltener durch Herzinsuffizienz, Überwässerung oder eine maligne Erkrankung. Differenzialdiagnostisch kommen Hämatothorax und Chylothorax in Betracht. Ein Pneumothorax zeigt in der Regel einen deutlich akuteren klinischen Verlauf.

Wichtige bildgebende Verfahren zur Diagnosestellung sind Röntgenaufnahme, Ultraschall und in komplizierten Fällen (z.B. schlechte Zugänglichkeit für Ultraschall) eine Computertomografie (CT) des Brustkorbs.

Synonyme

- Pleuradrainage
- Tube thoracostomy
- Chest drainage

Keywords

- Pleuradrainage
- Pleuraerguss
- Pleuraempyem
- Hämatothorax

- Pneumothorax

Definition

Eine Thoraxdrainage ist ein angelegtes Schlauchablaufsystem für Flüssigkeiten oder Luft aus dem Brustkorb, spezifisch der Pleurahöhle.

Einordnung der Methode im Vergleich zu weiteren Methoden

In weit gefasstem Sinne kann unter einer Thoraxdrainage eine Pleuradrainage, eine Mediastinaldrainage oder eine Perikarddrainage verstanden werden:

- Pleuradrainage: Drainage aus der Pleurahöhle
- Mediastinaldrainage: Drainage aus dem Mediastinum (z.B. nach kardiochirurgischen Eingriffen)
- Perikarddrainage: Drainage aus dem Perikard (z.B. nach kardiochirurgischen Eingriffen oder bei entzündlichen Prozessen)

Das Legen einer Pleuradrainage, die über längere Zeit belassen werden kann, ist nach erfolgten operativen thorakalen Eingriffen in folgenden Situationen einer Punktion (Thorakozentese) in der Regel überlegen:

- bei großen Ergüssen: ein Ablassen von > 15 ml/kg KG Flüssigkeit in kurzer Zeit hat ein hohes Risiko hämodynamischer und respiratorischer Komplikationen, daher besser Drainage über mehrere Stunden oder intermittierend
- bei Krankheitsprozessen mit anzunehmender Weiterproduktion von relevanten Ergussmengen oder persistierendem Pneumothorax
- bei Pleuraempyem: mehrfache Instillation von u.a. Fibrinolytika indiziert
- bessere Fixierungsmöglichkeit und deutlich geringere Gefahr des Abknickens des Katheters

Die Pleuradrainage weist ein höheres Infektionsrisiko im Vergleich zur Punktion auf, zusätzlich können katheterbezogene Schmerzen auftreten.

Indikationen

- Entlastung eines Spannungspneumothorax
- Entlastung eines Pneumothorax mit respiratorischer Beeinträchtigung, wenn von einer Persistenz ausgegangen werden muss (z.B. sekundärer Pneumothorax, Pneumothorax bei beatmeten Patienten)
- zur Ableitung eines Pleuraergusses (z.B. Chylothorax, Hämatothorax, Pleuraempyem) bei Dyspnoe
- postoperativ (z.B. bei Herzoperationen, Thoraxtrauma) nach Lungenresektionen

Kontraindikationen

Relative Kontraindikationen:

- Thrombopenie < 20000/µl
- fibrinolytische Therapie oder Antikoagulation
- infiziertes Hautareal
- Im Notfall keine Kontraindikation, keine Zeitverzögerung zulassen!

Aufklärung und spezielle Risiken

Spezielle Risiken:

- Infektion
- Pneumothorax
- Hämatothorax durch Verletzung von Blutgefäßen oder Lunge
- Verletzung von Milz, Leber oder Herz

Anästhesie

- Lokalanästhesie, z.B. Mepivacain
- ggf. Sedativum, z.B. Midazolam 0,05–0,1 mg/kg KG; 1–2 mg Propofol/kg KG als Bolus, Esketamin 0,25–0,5 mg/kg KG, ggf. wiederholen

Personal, Material und Einstelltechnik

- eine Assistenzkraft
- Sonografiegerät
- Monitoring: EKG, Blutdruck und pulsoximetrische Sauerstoffsättigung (QRS-Ton anmachen!)
- Beatmungsbeutel, Sauerstoffbrille und Sauerstoff bereithalten
- Desinfektionsmittel, sterile Handschuhe, Haube, Mundschutz, steriler Kittel
- steriles Abdecktuch (Lochtuch), sterile Kompressen, Pflaster
- Lokalanästhetikum (Scandicain 2 %) und Analgetika (z.B. Morphin, Fentanyl)
- Sedativum Midazolam (0,05–0,1 mg/kg KG) und Esketamin (0,5–2 mg/kg KG) oder Propofol (1–3 mg/kg KG)
- Thoraxdrainagen: bei Neugeborenen < 2000 g Ch 10, > 2000 g Ch 12; je kleiner die Drainage, desto leichter verstopft sie
- sterile gebogene Klemme, spitzes Skalpell, 2 lange und 2 kurze Pflasterstreifen, Drainageset mit Sogvorrichtung
- 10-ml-Spritze mit NaCl 0,9 % halb vorgefüllt, weitere 10-/20-ml-Spritzen, evtl. Dreiwegehahn
- Laborröhrchen für Zellzahl/Differenzialzellbild, klinische Chemie, Kultur, Bakteriologie

Vorbereitung

- Sonografie: Quantifikation und Lokalisation des Ergusses (Septierung?). Markierung der optimalen Punktionsstelle
- Röntgen-Thorax: Quantifikation und Lokalisation des Ergusses/Pneumothorax
- aktuelles Labor: BB, Gerinnung

Anatomie

Siehe Abb. 32.1.

> **Cave**
>
> Die Interkostalgefäße verlaufen am Unterrand der Rippen. Deshalb sollte immer am Oberrand der Rippe präpariert werden.

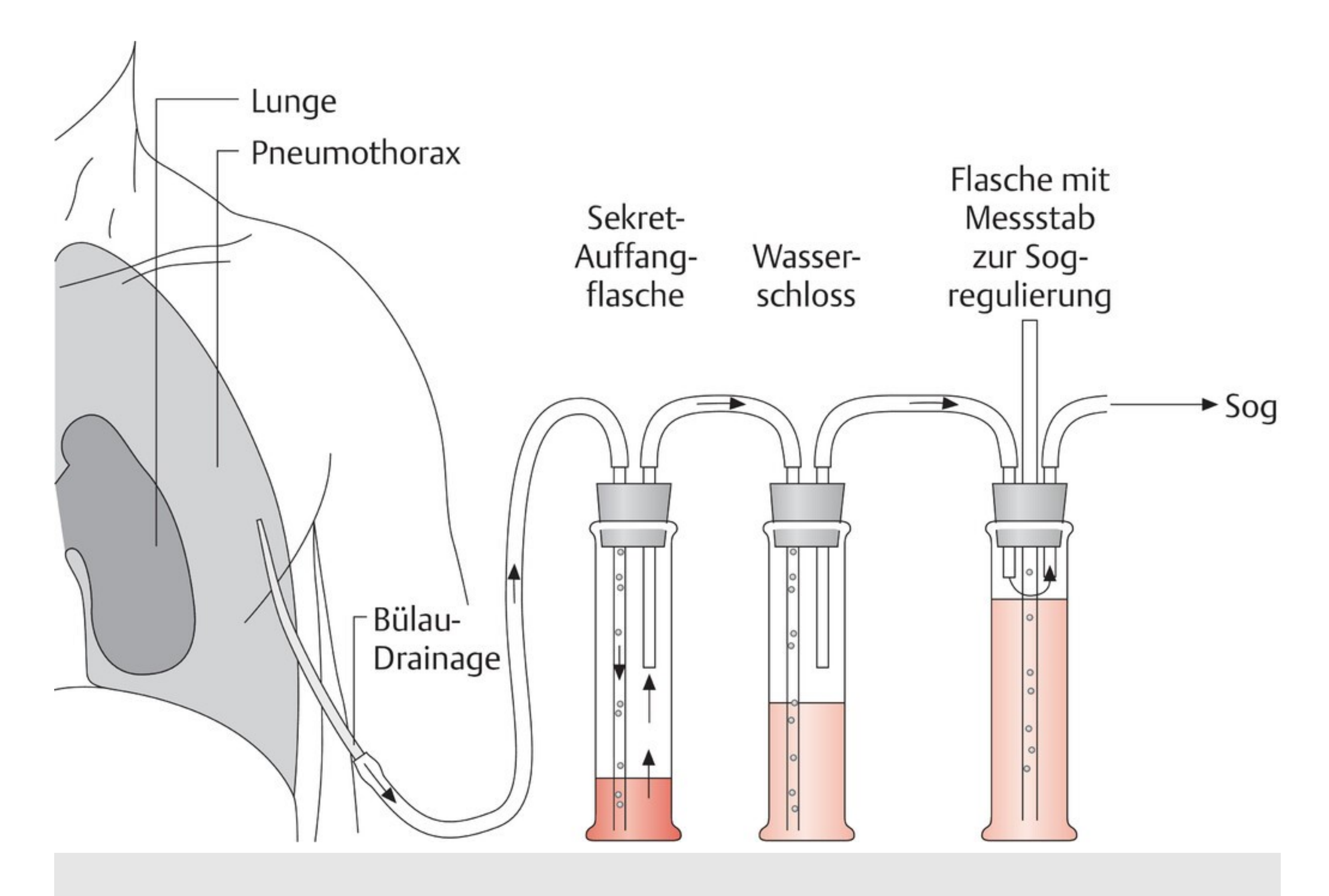


Abb. 32.1 Bülau-Drainage.

Prinzipieller Aufbau einer Thoraxdrainage. Moderne Geräte sind vollautomatisiert mit digital einstellbarem Sog und digitaler Anzeige des drainierten Volumens.

(Quelle: Hahn J. Therapie. In: Hahn J, Hrsg. Checkliste Innere Medizin. 9., vollständig überarbeitete Auflage. Stuttgart: Thieme; 2023.)

(Quelle: Hahn J. Therapie. In: Hahn J, Hrsg. Checkliste Innere Medizin. 9., vollständig überarbeitete Auflage. Stuttgart: Thieme; 2023.)

Durchführung

- Monitoring anbringen: EKG, Blutdruck (3-minütige Messung) und pulsoximetrische Sauerstoffsättigung (QRS-Ton anmachen!)
- i.v. Zugang kontrollieren bzw. anlegen
- Drainagekatheter bereitlegen:
  - Größe je nach zu erwartendem Material und Alter des Kindes
  - großlumig bei Hämatothorax
  - Pigtail 5–9 Fr für Pneumothorax oder Transsudate meist ausreichend
  - bei Empyem: unterschiedliches Vorgehen; bevorzugt 10–12 Fr und hoher Sog (−20 cm H_2O), da meist ausreichend, weniger schmerzhaft, alternativ größerlumig (z.B. 18 Fr)
- Punktionsstelle bei Pneumothorax:
  - Notfall: 2. ICR (Interkostalraum) in der Medioklavikularlinie (Monaldi-Drainage, Abb. 32.1). Die 2. Rippe ist hier die erste tastbare unter der Klavikula! (Auch kosmetische Folgen bedenken!) Aber gute Daten sprechen dafür, dass sowohl Erfolgs- als auch Komplikationsrate günstiger bei Eingehen im 4./5. ICR der vorderen Axillarlinie sind [1], [2].
  - Oder: besser 4./5. ICR in der vorderer Axillarlinie (Bülau-Drainage, Abb. 32.1); nicht die Mamille verletzen
- Punktionsstelle bei Pleuraerguss: 5.–7. ICR (Interkostalraum) in der hinteren Axillarlinie. Nach Möglichkeit Lage des Ergusses sonografisch überprüfen und Punktionsort festlegen und markieren.

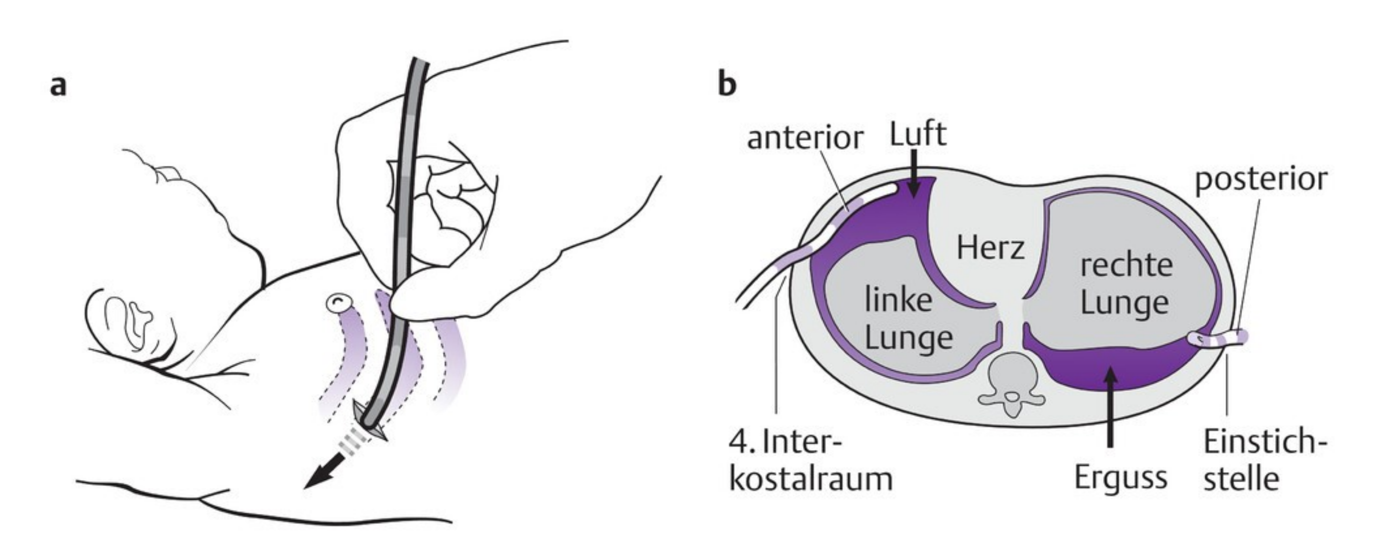
  > **Cave**
  > Unterhalb des 6.–7. ICR befinden sich beim Gesunden Leber oder Milz! Diese können deutlich höher stehen!

- bei Erguss nach Möglichkeit ultraschallgezielt (v.a. bei gekammertem Erguss)

- Lagerung:
  - bei Pleuraerguss: sitzende Position, wenn toleriert, ansonsten Rückenlage, nicht betroffene Seite etwas erhöht
  - bei Pneumothorax: Rückenlage, betroffene Seite etwas erhöht
- Hautareal desinfizieren
- sterile Bekleidung, Mundschutz, Haube und steriles Abdecken
- Lokalanästhesie mit dünner Nadel (27–30 G) am Oberrand einer Rippe unter wechselnd Aspiration und Einspritzen bis Eindringen in Pleuraraum
- bei Anlegen einer Dauerdrainage Z-artig vorgehen: Eingehen auf die Rippe, Parallelverschiebung der Nadel bis Oberrand der Rippe, dann tiefer gehen
- Nadel immer senkrecht auf Thoraxoberfläche halten, keine schräge Stichrichtung!
- *Methode 1:* Pigtail-Drainage in Seldinger-Technik:
  - identischer Einstich und Vorschieben der Nadel unter Aspiration mit aufgesetzter halbgefüllter NaCl 0,9 %-Spritze wie zuvor zur Lokalanästhesie am Oberrand einer Rippe (Interkostalgefäße laufen am Unterrand)
  - nach Durchstechen der Thoraxwand und Eintritt in die Pleurahöhle (erkennbar an Aspiration von Luft oder Pleuraflüssigkeit) Nadel bei Erguss nach dorsal kippen, bei Pneumothorax nach ventral
  - Absetzen der Spritze, Einführen des Seldinger-Drahtes
  - kleine Hautinzision, Einführen des Dilatators, Einbringen des Drainagekatheters
  - evtl. Ansetzen eines Dreiwegehahns
  - Abziehen von Luft (bei Pneumothorax) bzw. Flüssigkeit (bei Pleuraerguss max. 15 ml/kg KG).
- *Methode 2:* mit Skalpell (weniger gut geeignet als Methode 1 v.a. bei Neugeborenen und Säuglingen, größeres iatrogenes Trauma)
  - schmale Hautinzision (ca. 1 cm, bei Neugeborenen 0,5 cm) setzen, versetzt dazu am Oberrand der Rippe die Muskulatur durchtrennen (am Unterrand laufen die Interkostalgefäße)
  - mit gebogener Klemme stumpf bis auf die Pleura präparieren, dann diese eröffnen; bei größeren Kindern Erweiterung mit Finger
  - Drainage mit Klemme fassen und durch den vorpräparierten Tunnel schieben
- nach richtiger Positionierung an Sog anschließen
  - Sog: physiologischer Unterdruck im Pleuraspalt bei etwa -8 cm H_2O
  - keine klaren Empfehlungen zu Sogeinstellung bei Pathologie, je nach Ergussqualität und Effektivität
- eingeschnittene Kompresse zum Schutz der Wunde auflegen
- mit Pflaster fixieren, ein Pflaster in Längsrichtung auf die Drainage und Haut, einige Pflaster quer dazu (Abb. 32.2).

> **Merke**
> Eine Tabaksbeutelnaht ist in der Regel unnötig und führt zu kosmetisch unschönen Narben.

- Röntgenkontrolle a.p. und evtl. seitlich in Rückenlage (Pneumothoraxseite anliegend)
- Bei mehreren Drains eindeutige Markierung vor Rö!





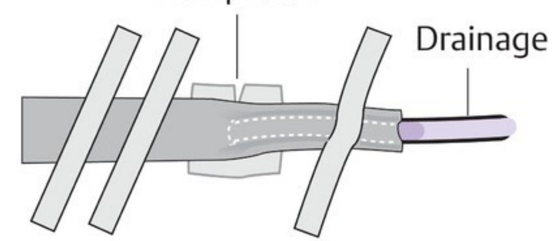


Abb. 32.2 Pleuradrainage.

a Legen einer Pleuradrainage bei Pleuraerguss.

b Korrekte Lage der Pleuradrainage bei Pneumothorax (links) und Pleuraerguss (rechts).

c Fixierung der Drainage mit Pflaster.

(Quelle: Kerbl R, Kurz R, Roos R, Wessel L, Reiter K. Durchführung. In: Kerbl R, Kurz R, Roos R, Wessel L, Reiter K, Hrsg. Checkliste Pädiatrie. 5., vollständig aktualisierte Auflage. Thieme; 2015.)

(Quelle: Kerbl R, Kurz R, Roos R, Wessel L, Reiter K. Durchführung. In: Kerbl R, Kurz R, Roos R, Wessel L, Reiter K, Hrsg. Checkliste Pädiatrie. 5., vollständig aktualisierte Auflage. Thieme; 2015.)

Mögliche Komplikationen

Drainage fördert nicht

- korrekten Sog überprüfen
- Lage überprüfen (mittels Röntgen in 2 Ebenen):
  - Liegt der Drain hinter der Lunge?
  - Ist subkutan (zu flach) punktiert worden?
  - Ist der Drain zu tief eingeführt oder stößt er medial an?
  - Eine Korrektur der Lage (mit Ausnahme des Zurückziehens) ist nur so lange möglich, wie das gesamte System steril gehalten wird. Danach muss wegen der Infektionsgefahr bei Fehlplatzierung ein neues System gelegt werden.
- Durchgängigkeit überprüfen: Ist der Drain abgeknickt oder verstopft (keine Förderung von Luft bzw. Flüssigkeit)? Maßnahmen:
  - Knick beseitigen, bei Verstopfung des Drains, „Melkversuch“ mit speziellem Gerät (Unterdruck)
  - wenn nicht erfolgreich → Drainagewechsel (**cave** Infektion!)
  - Bei Persistenz von Restluft ist ein zweiter Drain (sehr selten) erforderlich!

Drain fördert übermäßig Luft, nicht atemsynchron

- Liegt ein Leck im System vor? Liegt der Drain nicht tief genug? Liegt er intrapulmonal?
- Überprüfung: Schlauchsystem inspizieren (Leck?), Lage (Markierung, Tiefe), Röntgenkontrolle
- Maßnahmen: Leck beseitigen bzw. Lagekorrektur

Infektion

- Kathetereintritt täglich kontrollieren

- Pleuraergussmaterial bei Infektionszeichen für bakteriologische Untersuchung abnehmen

Katheterarrosion mediastinal

- Blutung
- evtl. Mediastinalemphysem

Thoraxschmerzen im Segment der Katheterplatzierung oder pleural

- evtl. Lagekorrektur
- Analgetika

Postoperatives/postinterventionelles Management

- Pneumothorax: unmittelbare Kontrolle der Effektivität und richtigen Positionierung der Drainage klinisch (Auskultation, evtl. Besserung von Hämodynamik und Oxygenierung) und mittels Bildgebung (Sonografie, Röntgenthorax).
- Pleuraerguss: bei fehlender oder nachlassender Drainagemenge ultrasonografische Kontrolle des Pleuraraumes
- In Abhängigkeit von der vorliegenden Pathologie intrapleurale Therapie erwägen, z.B. lokale Fibrinolyse + Pulmozyme bei Empyem.
- Entfernung der Drainage:
  - nach Pneumothorax: nach Sistieren des Luftlecks radiologische/ultrasonografische Kontrolle, Abklemmen des Drains für etwa 4 Stunden; bei fehlender Reakkumulation des Pneumothorax (Nachweis mittels Bildgebung) Ziehen des Drains
  - bei Pleuraerguss: je nach Pathologie und Alter des Kindes sollte eine Ergussmenge unter 50–100 ml/Tag vor Drainagezug erreicht sein.

Ergebnisse

Analyse des Pleurapunktats

Auswahl (je nach klinischer Situation):

- **Mikrobiologie:** Kultur, PCR (Polymerasekettenreaktion), ggf. Gram-Färbung
- **Klinische Chemie:**
  - Blutbild
  - Zellzahl, Laktat und Glukose
  - Gesamteiweiß, LDH (Laktatdehydrogenase)
  - Cholesterin, Triglyzeride
  - Amylase, Lipase
  - NT-proBNP (N-terminales proBNP [brain natriuretic peptide])
  - Tumormarker
  - pH-Wert
- **Pathologie:** Zytologie (Tumorzellen?)

Unterscheidung Transsudat und Exsudat Tab. 32.1.

Differenzierung des Pleurapunktats nach Befunden Tab. 32.2

Tab. 32.1 Pleurapunktat: Unterscheidung Transsudat und Exsudat.

Parameter	Transsudat	Exsudat
Gesamteiweiß	< 3 g/dl	> 3 g/dl
spezifisches Gewicht	< 1016	> 1016
LDH	< 200 U/l	> 200 U/l
Eiweiß Pleura/Serum	< 0,5	> 0,5
LDH Pleura/Serum	< 0,6	> 0,6; bei Malignom häufig > 1
LDH Pleura	> 2×	< 2× oberer Serum-Normwert

Parameter	Transsudat	Exsudat
Farbe	hell, klar, gelb	evtl. trüb, schaumig

Tab. 32.2 Differenzierung des Pleurapunktats nach Befunden.

	Farbe	Labor
unkomplizierter Pleuraerguss	klar, gelblich	pH > 7,3, Transsudat, klinische Chemie s. Tab. 32.1
Chylothorax	milchig	Chylomikronen nachweisbar (wenn enteral ernährt!), Triglyzeride 4–5 g/l, Protein 20–60 g/l
Pleuraempyem	trüb, eitrig	pH < 7,1, Exsudat, in Kultur, PCR, Mikroskopie baktt Erreger nachweisbar
Tbc	evtl. blutig	Exsudat, Kultur, PCR
Hämatothorax	blutig	Hb, Erythrozyten
maligner Pleuraerguss	unspezifisch	Zytopathologie

Literatur

Quellenangaben

- [1] Leonhard G, Overhoff D, Wessel L et al. Determining optimal needle size for decompression of tension pneumothorax in children - a CT-based study. Scand J Trauma Resusc Emerg Med 2019; 27(1): 90
- [2] Terboven T, Leonhard G, Wessel L et al. Chest wall thickness and depth to vital structures in paediatric patients - implications for prehospital needle decompression of tension pneumothorax. Scand J Trauma Resusc Emerg Med 2019; 27(1): 45

Literatur zur weiteren Vertiefung

- [1] Jany B, Welte T. Pleural effusion in adults – etiology, diagnosis, and treatment. Dtsch Arztebl Int 2019; 116: 377–386. DOI: 10.3238/arztebl.2019.0377
- [2] McGrath EE, Anderson PB. Diagnosis of pleural effusion: a systematic approach. Am J Crit Care 2011; 20 (2): 119–127. DOI: 10.4037/ajcc2011685. PMID: 21362716
- [3] Segura RM. Useful clinical biological markers in diagnosis of pleural effusions in children. Paediatr Respir Rev 2004; 5 (Suppl A): S205–S212. DOI: 10.1016/s1526–0542(04)90039–5. PMID: 14980272

Lumbalpunktion

Boris Barbarics, Karl Reiter

Steckbrief

Bei der Lumbalpunktion wird mittels Punktionsnadel zu diagnostischen oder therapeutischen Zwecken Liquor aus dem Subarachnoidalraum des Rückenmarks der Lendenwirbelsäule gewonnen. Ein erhöhter Hirndruck ist eine absolute Kontraindikation, da eine zerebrale Einklemmung auftreten kann.

Synonyme

- Spinalpunktion
- Lumbar puncture
- Spinal tap

Keywords

- Lumbalpunktion
- Liquor
- Meningitis
- Enzephalitis
- Hirndruck

Definition

Bei einer Lumbalpunktion wird Liquor aus dem Subarachnoidalraum des Rückenmarks der Lendenwirbelsäule gewonnen.

Einordnung der Methode im Vergleich zu weiteren Methoden

Die Diagnostik vieler Prozesse des ZNS erfordert eine Untersuchung des Liquors, da aufgrund der Blut-Hirn-Schranke von Blutparametern nicht auf Liquorveränderungen geschlossen werden kann und andere Verfahren wie z.B. bildgebende Verfahren häufig keine ätiologische Diagnosestellung zulassen. Hierzu gehören:

- Nachweis einer ZNS-Infektion, Inflammation oder maligner Erkrankung
- metabolische Störungen, die v.a. oder ausschließlich das ZNS betreffen (z.B. bestimmte Mitochondriopathien, Glukose-Transporter-Störungen)
- Bestimmung der Intaktheit der Blut-Hirn-Schranke
- direkte Hirndruckmessung (falls keine Liquorzirkulationsstörung vorliegt, dann evtl. kombiniert mit Ablassen von Liquor zur Hirndrucksenkung)
- Diagnostik eines Guillain-Barré-Syndroms

Der lumbale Zugangsweg wird aufgrund der niedrigen Komplikationsrate bevorzugt. Bei offener Fontanelle kann transfontanellär punktiert werden. Der subokzipitale Zugangsweg ist komplikationsträchtig und wird extrem selten angewendet.

Indikationen

- Liquorgewinnung zu diagnostischen Zwecken:
  - für mikrobiologische und andere Fragestellungen, vor allem bei V.a. Meningitis, Enzephalitis, Neuroborreliose, Multiple Sklerose
  - Subarachnoidalblutung
  - Tumor
- therapeutisch, z.B. Druckentlastung bei Hydrozephalus des FG, Applikation von Zytostatika (Leukämie)

> **Cave**
>
> Bei massiv erhöhtem Hirndruck besteht bei Entlastung durch Punktion die Gefahr der Hirnverlagerung mit Einklemmung; daher bei V.a. erhöhten Hirndruck vor Punktion Ausschluss einer Stauungspapille. Eine Stauungspapille tritt erst nach einigen Tagen erhöhten Hirndruckes auf, daher zum Ausschluss eines akuten Hirndruckes immer Bildgebung (CT, MRT)!

Kontraindikationen

- erhöhter intrakranieller Druck (Gefahr der zerebralen Einklemmung)
- Gerinnungsstörungen:
  - Thrombozyten < 50000/µl als relative, < 10000/µl als absolute Kontraindikation (ggf. Thrombozytensubstitution vor Lumbalpunktion notwendig)
  - Quickwert < 50 %, INR > 1,7
- lokale Entzündungen (Gefahr der Keimverschleppung)
- kardiorespiratorische Erkrankungen, die die notwendige Lagerung des Patienten nicht erlauben
- ASS 100 mg oder Low-Dose-Heparine (niedermolekular) sind keine absoluten Kontraindikationen.

Aufklärung und spezielle Risiken

Bei den meisten Indikationen zur Lumbalpunktion ist diese alternativlos und notwendig.

Risiken:

- Infektion (Hautkeime oder bei Bakteriämie)
- Gefäßverletzung mit Blutung in den Rückenmarksraum und Rückenmarkskompression mit konsekutiver Lähmung

- Rückenmarks- oder Nervenverletzung mit konsekutiver Lähmung

Eine Aufklärung über die Schmerzhaftigkeit und Maßnahmen zur Analgesie sowie deren Risiken ist angezeigt. Nach Punktion kann es zu passageren, auch deutlichen Kopfschmerzen kommen. Der Patient sollte zumindest für einige Stunden in liegender Position verbringen.

Personal, Material und Einstelltechnik

Benötigtes Material

- Lumbalpunktionsnadel, sterile Tupfer, breites Pflaster, gefärbte alkoholische Desinfektionslösung
- Röhrchen je nach Fragestellung (klinische Chemie, Zytologie, Serologie, Kultur, Liquor-Elektrophorese, Mikroskopie); Ersatzröhrchen, falls Verlust eines Röhrchens auf dem Weg ins Labor oder Zusatzuntersuchung notwendig; Monovetten zur Blutentnahme (Quotientenberechnung)
- sterile Unterlage, Lochtuch und sterile Handschuhe, Mundschutz, ggf. sterilen Kittel
- Utensilien zur Lokalanästhesie

Nadelgrößen

- Die verfügbaren atraumatischen Nadeln sind etwa zwischen 3,5 und 12 cm lang. Eine Nadel kann grundsätzlich nicht „zu lang“ sein, jedoch ist bei jungen Kindern das Handling durch lange Nadeln erschwert.
- Für die Einstichtiefe kann folgende Näherungsformel herangezogen werden: Körperoberfläche × 2,6 + 0,8 cm

> **Cave**
>
> Insbesondere bei adipösen Kindern keine zu kurzen Nadeln verwenden!

Nadelstärken

Folgende Richtwerte können angewendet werden:

- Säugling: 22 G
- Kleinkind/Schulkind: 20–22 G
- Jugendliche/Erwachsene: 18–20 G

> **Praxistipp**
>
> Die Punktion mit dünneren Nadeln ist zwar weniger traumatisch, jedoch durch Verbiegung der Nadel oft erschwert.

Anatomie

Anatomische Verhältnisse im Spinalkanal Abb. 33.1, Anatomie des Spinalkanals mit Cauda equina Abb. 33.2.

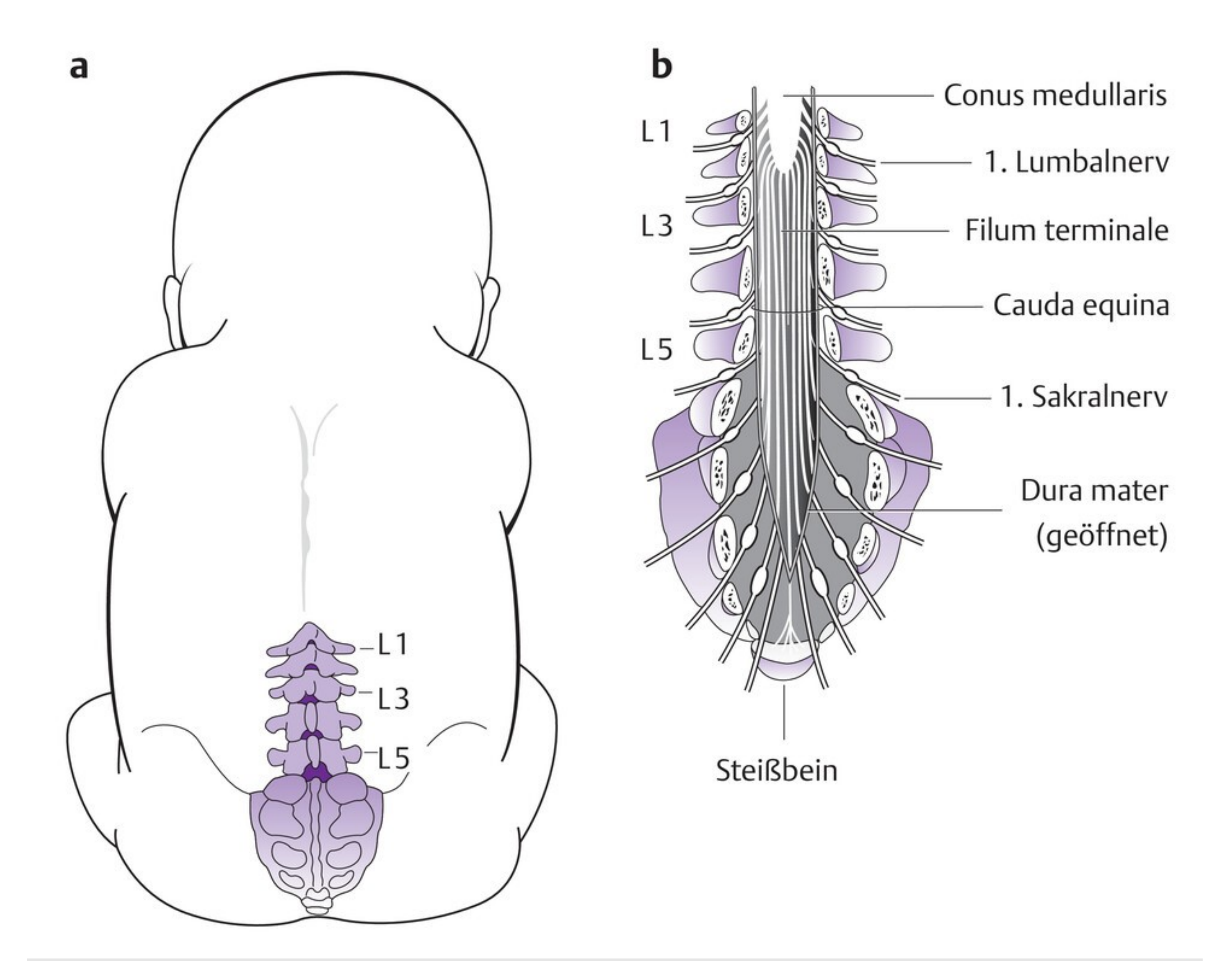


Abb. 33.1 Anatomische Verhältnisse im Spinalkanal L1 bis L5.

a Lendenwirbelsäule.

b Blick auf die Cauda equina.

(Quelle: Kerbl R, Kurz R, Roos R, Wessel L, Reiter K. Komplikation. In: Kerbl R, Kurz R, Roos R, Wessel L, Reiter K, Hrsg. Checkliste Pädiatrie. 5., vollständig aktualisierte Auflage. Stuttgart: Thieme; 2015.)

(Quelle: Kerbl R, Kurz R, Roos R, Wessel L, Reiter K. Komplikation. In: Kerbl R, Kurz R, Roos R, Wessel L, Reiter K, Hrsg. Checkliste Pädiatrie. 5., vollständig aktualisierte Auflage. Stuttgart: Thieme; 2015.)

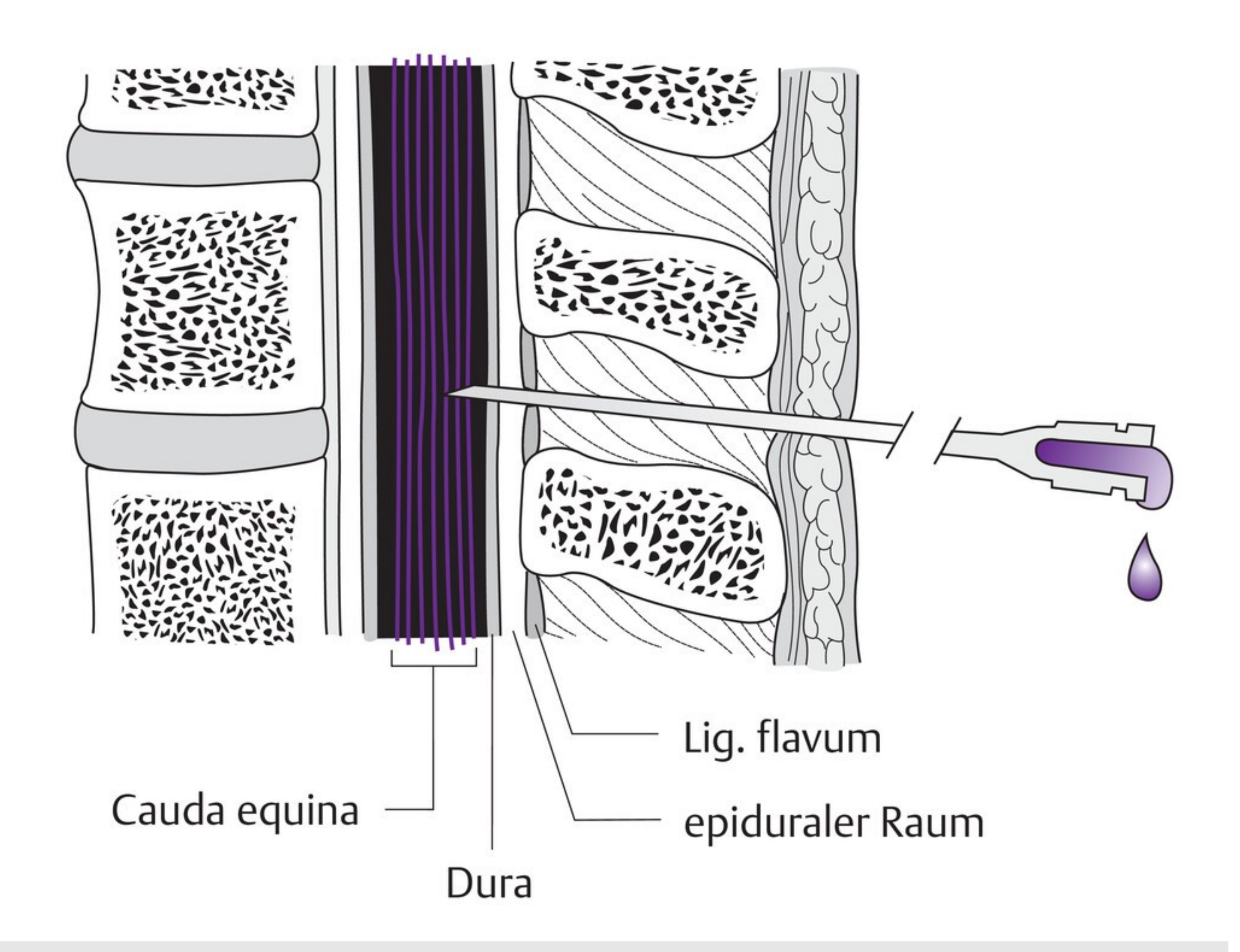


Abb. 33.2 Anatomie des Spinalkanals mit Cauda equina.

(Quelle: Kerbl R, Kurz R, Roos R, Wessel L, Reiter K. Komplikation. In: Kerbl R, Kurz R, Roos R, Wessel L, Reiter K, Hrsg. Checkliste Pädiatrie. 5., vollständig aktualisierte Auflage. Stuttgart: Thieme; 2015.)

(Quelle: Kerbl R, Kurz R, Roos R, Wessel L, Reiter K. Komplikation. In: Kerbl R, Kurz R, Roos R, Wessel L, Reiter K, Hrsg. Checkliste Pädiatrie. 5., vollständig aktualisierte Auflage. Stuttgart: Thieme; 2015.)

Durchführung

- **Lagerung:**
  - Seitenlagerung (v.a. bei sehr kleinen und beatmeten Kindern)
  - Sitzend bei größeren Kindern (Wirbelsäule lässt sich dann leichter in richtige Position bringen)
- **Analgesie** mit EMLA, Pflaster und **Sedierung** anstreben.

> **Cave**
>
> Bei zu hoher Konzentration und langer EMLA-Einwirkungszeit kommt es zu einer Methämoglobinbildung.
>
> Daher *EMLA-Creme* bei Säuglingen zwischen 3–12 Monaten nicht länger als 4 Stunden, bei Neugeborenen und Säuglingen bis zu 3 Monaten nicht länger als 1 Stunde auf der Haut lassen. Nach Applikation bei Neugeborenen und Säuglingen bis zu 3 Monaten vor wiederholter Anwendung mindestens 8 Stunden warten.
>
> *EMLA-Pflaster:* Keine Anwendung bei Frühgeburten, die vor der 37. Schwangerschaftswoche geboren wurden, und bei Neugeborenen und Säuglingen bis 3 Monate. Bei Säuglingen bis zu 1 Jahr gleichzeitige Anwendung von EMLA-Pflaster und anderen Methämoglobinbildnern vermeiden.

- In Ruhe die richtige Punktionsstelle (L3/L4, L4/L5) palpieren, evtl. markieren, Abb. 33.3, Abb. 33.4.

> **Praxistipp**
>
> Wenn möglich, bei einer Liquorpunktion in sitzender Position zunächst den unteren Zwischenwirbelraum (L4/L5) punktieren. Bei blutigem Liquor/blutiger Punktion kann dann noch immer bei der 2. Punktion der obere Zwischenwirbelraum (L3/L4) benutzt werden, um klaren Liquor zu gewinnen; Abb. 33.4.

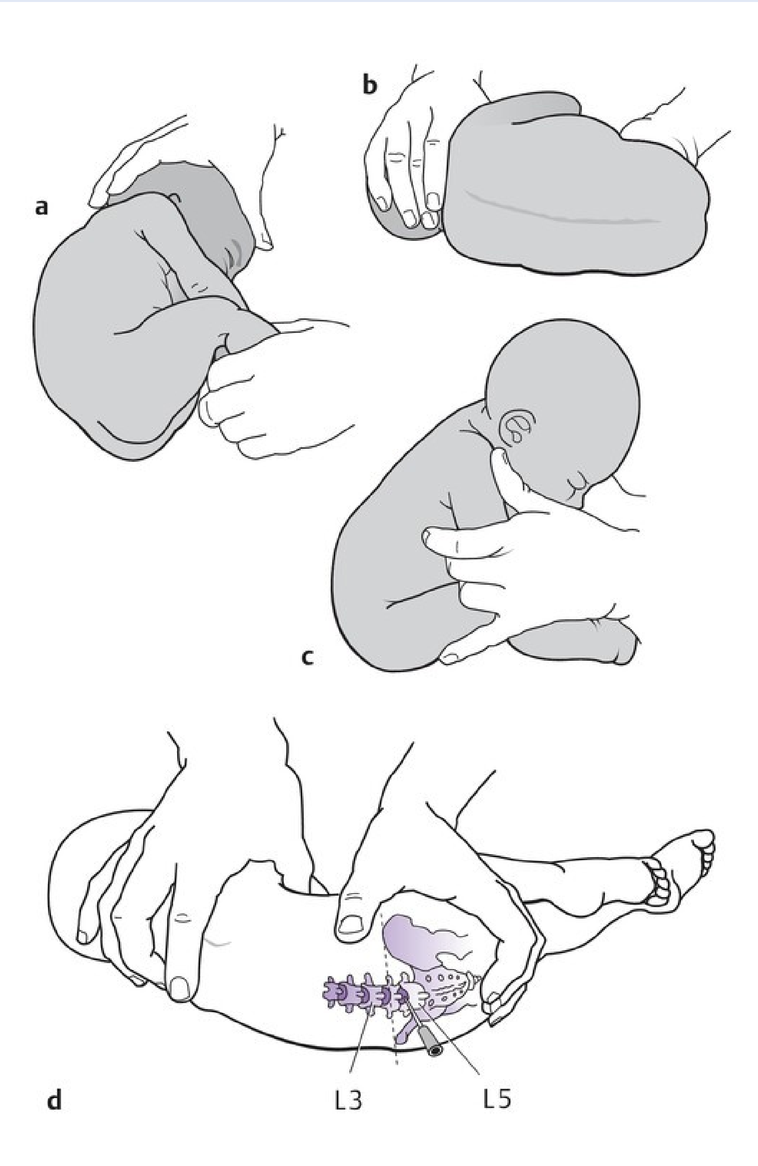


Abb. 33.3 Halten eines Neugeborenen für Lumbalpunktion..

a In liegender Position (Ansicht von der Seite).

b In liegender Position (Ansicht von hinten).

c In sitzender Position.

d Puntkionsstelle.

(Quelle: Kerbl R, Kurz R, Roos R, Wessel L, Reiter K. Komplikation. In: Kerbl R, Kurz R, Roos R, Wessel L, Reiter K, Hrsg. Checkliste Pädiatrie. 5., vollständig aktualisierte Auflage. Stuttgart: Thieme; 2015.)

(Quelle: Kerbl R, Kurz R, Roos R, Wessel L, Reiter K. Komplikation. In: Kerbl R, Kurz R, Roos R, Wessel L, Reiter K, Hrsg. Checkliste Pädiatrie. 5., vollständig aktualisierte Auflage. Stuttgart: Thieme; 2015.)

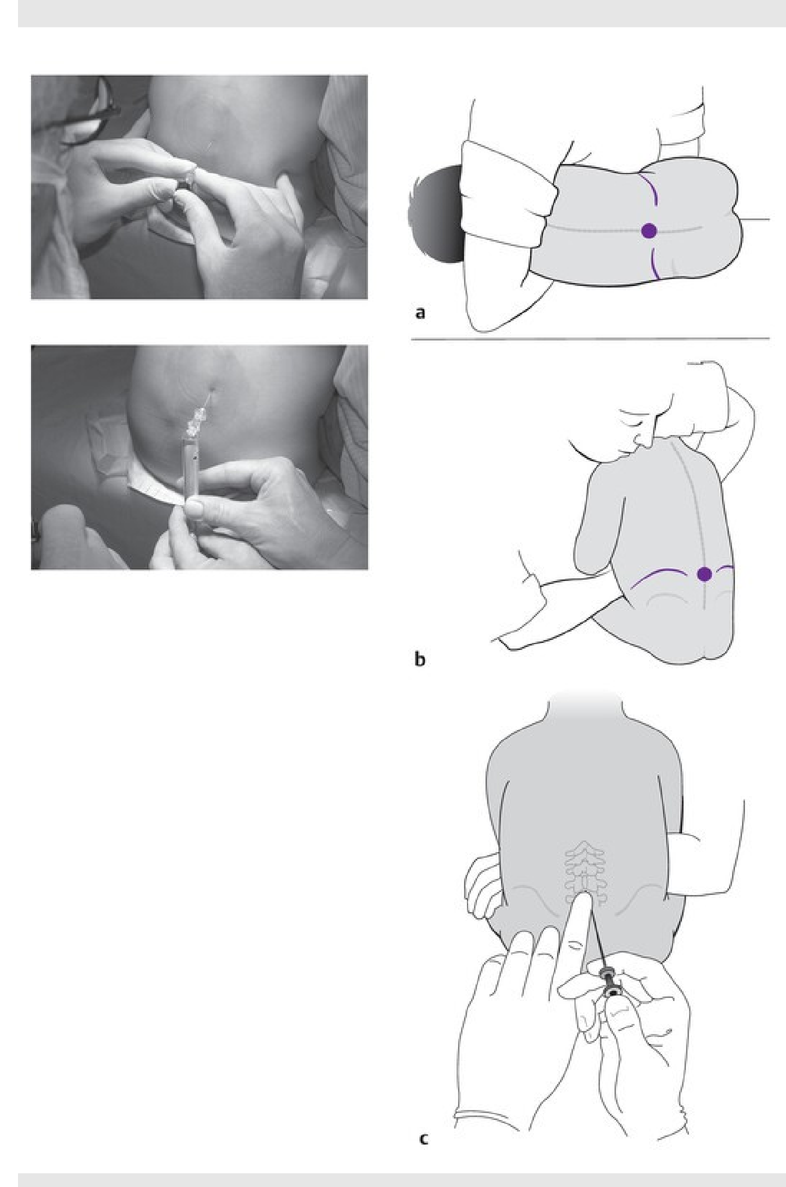


Abb. 33.4 a Halten eines Kindes in liegender und b sitzender Position zur Lumbalpunktion; c Punktionsstelle.

(Quelle: Kerbl R, Kurz R, Roos R, Wessel L, Reiter K. Komplikation. In: Kerbl R, Kurz R, Roos R, Wessel L, Reiter K, Hrsg. Checkliste Pädiatrie. 5., vollständig aktualisierte Auflage. Stuttgart: Thieme; 2015.)

(Quelle: Kerbl R, Kurz R, Roos R, Wessel L, Reiter K. Komplikation. In: Kerbl R, Kurz R, Roos R, Wessel L, Reiter K, Hrsg. Checkliste Pädiatrie. 5., vollständig aktualisierte Auflage. Stuttgart: Thieme; 2015.)

- **Desinfektion:**
  - mit Alkoholspray Punktionsstelle gründlich absprühen oder (besser) mit Tupfern, die mit alkoholischer Desinfektionslösung getränkt sind, gründlich benetzen
  - sterile Handschuhe anziehen und sterile Unterlage unterlegen, mit sterilen Tupfern die Punktionsstelle abtupfen, nochmals absprühen bzw. wischen (Pflegeperson) und mit sterilem Tupfer abtrocknen!
- **Punktion:**
  - erneut den richtigen Zwischenwirbelraum ertasten, dann rechts und links der Wirbelsäule mit 2 Fingern eingrenzen, dazwischen mit der Nadel gerade eingehen und dann in Richtung Nabel (d.h. leicht nach kranial) vorschieben (bei Frühgeborenen spürt man beim Durchstechen des Lig. flavum oft nicht das „Plopp“)
  - Zurückziehen des Mandrins und bei richtiger Lage der Nadel Liquor abtropfen lassen

Praxistipp

- falls kein Liquor kommt, vorsichtiges Drehen an der Nadel und dabei langsam zurückziehen
- vorsichtiges Massieren der großen Fontanelle hilft bei Neugeborenen, wenn zu wenig Liquor gewonnen werden kann

- nach Liquorgewinnung den Mandrin zur Hälfte zurückstecken und Nadel rasch herausziehen (aus dem Konus der Nadel können noch einige Tropfen Liquor gewonnen werden!)
- venöse Blutentnahme

Lagerung

Eine Lumbalpunktion ist in sitzender Position des wachen und kooperativen Patienten (Messung des Liquordruckes), zu bevorzugen. Eine gute Fixierung des Patienten und Kyphosierung der Wirbelsäule sind bedeutend.

Mögliche Komplikationen

- häufig (> 3 %):
  - lokaler Schmerz an der Punktionsstelle
  - akute transiente lumbale Wurzelreizsymptomatik (Missempfindungen)
  - lokale leichte Blutung
  - postpunktionelle Kopfschmerzen
- selten (< 3 %):
  - Infektion des Stichkanals
  - Kreislaufreaktionen bis hin zu Synkopen
- sehr selten:
  - Blutungen mit neurologischen Ausfällen, vorwiegend bei Punktionen trotz Kontraindikationen oder bei Vorliegen von Gefäßanomalien
  - Subduralhämatome
  - Hirnnervenausfälle
  - Migräneattacken
  - epileptische Anfälle

Komplikationen während der Durchführung

Blutige Punktion. Andere Komplikationen (Infektion, Abbrechen der Nadel, Liquorfistel) sind bei richtigem Handling sehr selten. Sehr selten ist eine Einklemmung der Medulla oblongata.

Komplikationen nach der Durchführung

Der postpunktionelle Kopfschmerz kann mehrere Tage anhalten, ist aber ungefährlich.

Ergebnisse

Auswertung der Liquordiagnostik Tab. 33.1, Beurteilung Tab. 33.2.

Tab. 33.1 Auswertung der Liquordiagnostik [1]

Stufe	Parameter	Fragestellung/Auswertung
Basisanalytik	Quotienten von Albumin, IgG, IgA, IgM + oligoklonale Banden	intrathekale Entzündung, Schrankenstörung
	Differenzialzellbild	Inflammation, Blutung, Tumor
	Gramfärbung + Kultur	Erregernachweis
Eilanalytik	Beschaffenheit (ggf. 3-Gläser-Probe), Zellzahl, Gesamtprotein, Glukose, Laktat	akute Entzündung, bakteriell-viral, Blutung
Spezialanalytik	erregerspezifische Antikörper	Infekt vs. autoimmun
	ZNS-Proteine	neurodegenerative Erkrankungen

Stufe	Parameter	Fragestellung/Auswertung
	Antigennachweis	Erregernachweis
	PCR	Viren, Bakterien, TBC, Parasitosen
	Immunzytologie, Tumormarker	Tumor: Bestätigung und Typisierung

Tab. 33.2 Liquordiagnostik, Beurteilung.

Parameter	Norm	pathologisch	Ursache
Farbe	wasserklar	trüb, xanthochrom	Entzündung, (evtl. abgelaufene Blutung)
Zellzahl*	< 15/3 in Fuchs-Rosenthal-Kammer	↑	Entzündung, Blutung, Meningeosis leucaemica, evtl. bei Tumor
Glukose	altersabhängig (Tab. 33.3)	↑	Hyperglykämie
		↓	Meningitis purulenta, Meningitis tuberculosa, evtl. bei Borreliose, Pilzinfektionen (< 50 % der Blutglukosekonzentration)
Eiweiß	altersabhängig (Tab. 33.3)	↑	Entzündungen, Stopp-Liquor (Liquorzirkulationsstörung), Tumoren, Guillain-Barré-Syndrom, degenerative Prozesse
Elektrophorese		evtl. Neopterin ↑	unspezifischer Entzündungsparameter
		oligo-/monoklonale Banden	Kollagenosen, degenerative Prozesse
Erreger	steril	Erregernachweis	Infektion

* Hinweis: Die Zellzahl wird heute vielfach pro mm^3 (µl) angegeben. Es entsprechen dann 10 Zellen 30/3 Zellen/mm^3 (µl) (= Umrechnungsfaktor 3).

Tab. 33.3 Altersabhängige Normwerte im Liquor.

Parameter	Frühgeborenes	Neugeborenes	Kinder
Glukose Liquor/Blut	55–105 %	45–130 %	ca. 40 %
Eiweiß	65–150 mg/dl	20–170 mg/dl	bis 35 mg/dl
Leukozyten	0–25/µl	0–22/µl	bis 5/µl
Granulozyten	ca. 60 %	ca. 60 %	ca. 60 %

Literatur

Quellenangaben

- [1] Tumani H, Petereit H-F et al. Lumbalpunktion und Liquordiagnostik, S1-Leitlinie, 2019. In: Deutsche Gesellschaft für Neurologie, Deutsche Gesellschaft für Liquordiagnostik und Klinische Neurochemie (Hrsg.), Leitlinien für Diagnostik und Therapie in der Neurologie: https://dgn.org/leitlinien/ll-030–141-lumbalpunktion-und-liquordiagnostik-2019/ (Stand 18.07.2023)

Punktion des Peritoneums/Aszitespunktion

Karl Reiter, Boris Barbarics

Steckbrief

Die Punktion des Peritonealraums bzw. Aszitespunktion kann zu therapeutischen oder diagnostischen Zwecken notwendig sein. Exaktes Aufsuchen des optimalen Punktionsortes unter Vermeidung von Organen und größeren Blutgefäßen ist am besten ultraschallgestützt durchführbar. Mittels einer Spritze und Punktionsnadel wird nach Lokalanästhesie oder Analgosedierung die Peritonealflüssigkeit aspiriert.

Synonyme

- Aszitespunktion
- Peritoneal puncture
- abdominelle Parazentese
- Peritonealpunktion

Keywords

- Aszitespunktion
- Parazentese

Definition

Die Aszitespunktion wird zur Aspiration von peritonealer Flüssigkeit (oder massiven freien Gasmengen mit Druckwirkung) verwendet. Dies kann zu diagnostischen Zwecken oder therapeutisch zur intraabdominellen Druckentlastung erforderlich sein.

Einordnung der Methode im Vergleich zu weiteren Methoden

Zur Klärung einer infektiologischen oder hämorrhagischen Ätiologie eines Aszites ist eine Punktion diagnostisch und in der Regel ausreichend. Bei großen Aszitesmengen ist die Menge begrenzt, die per Punktion pro Sitzung abgelassen werden sollte (hämodynamische Komplikationen!). Hier besteht die Alternative in mehrfachen Punktionen oder in der Anlage einer Drainage. Eine Drainage ist sinnvoll bei intraabdominellen Infektionen.

Indikationen

- diagnostisch: Aszitesuntersuchung auf Infektion, intraabdominelles Malignom, Blutung
- therapeutisch: Entlastungspunktion bei intraabdominellem Kompartmentsyndrom oder respiratorischer Beeinträchtigung durch große Mengen an Aszites oder freier intraperitonealer Luft (seltener Notfall bei Gastroduodenoskopie)

Kontraindikationen

Keine absoluten Kontraindikationen unter exakter Technik unter Ultraschall- oder CT-Kontrolle.

Aufklärung und spezielle Risiken

Die abdominelle Parazentese ist ein sehr risikoarmer Eingriff, insbesondere wenn durch eine begleitende Ultraschalluntersuchung ein Punktionsort identifiziert wird, bei dem keine Gefahr der Verletzung abdomineller Organe besteht.

Risiken des Eingriffs:

- persistierendes Aszitesleck über Stichkanal
- Perforation von Blase, Darm (insbesondere falls voroperiert durch Adhäsionen bedingt)
- Hämatom der Bauchwand
- Infektion: Stichkanal, Peritonitis

Anästhesie

- Lokalanästhetikum (Scandicain 2 %)
- ggf. Sedativum bei Säuglingen/Kleinkindern, Midazolam (0,05–0,1 mg/kg KG) und Ketamin (0,5–2 mg/kg KG) bzw. Propofol (1–3 mg/kg KG)

Personal, Material und Einstelltechnik

- Assistenzkraft
- Sonografiegerät
- EKG-Monitor mit Blutdruck und Sauerstoffsättigung (QRS-Ton anmachen!)
- i.v. Zugang, kristalloide Infusionslösung, bei Ablassen größerer Aszitesmengen Albumin als Volumenersatz
- Beatmungsbeutel, Sauerstoffbrille und Sauerstoff bereithalten
- Desinfektionsmittel, sterile Handschuhe, Haube, Mundschutz, steriler Kittel
- sterile Kompressen, Pflaster, steriles Lochtuch
- Lokalanästhetikum (Scandicain 2 %), ggf. Sedativum
- Punktionskanülen, z.B. LP-Nadeln (20–22 G für Kleinkinder, 16–20 G für größere Kinder).
- ggf. Pigtail-Katheter und Ablaufsystem bei kontinuierlicher Drainage

- Laborröhrchen für Chemie, Zellzahl/Differenzialzellbild, Bakteriologie, evtl. PCR (Polymerasekettenreaktion)

Vorbereitung

- Sonografie: Quantifikation und Lokalisation des Aszites, Markierung der Punktionsstelle
- Blase sollte entleert sein (geringere Gefahr der Blasenpunktion)
- aktuelles Labor: BB, Gerinnung

Anatomie

Punktion möglichst am linken Unterbauch am Punkt zwischen mittlerem und lateralem Drittel der Linie Nabel – Spina iliaca anterior superior in Richtung Douglas-Raum (Abb. 34.1), mit Abstand zu den abdominellen Nachbarorganen und der Arteria epigastrica inferior.

Vermeidung von Stellen mit Narben aus vorhergehenden Operationen (Risiko der Darmadhäsion).

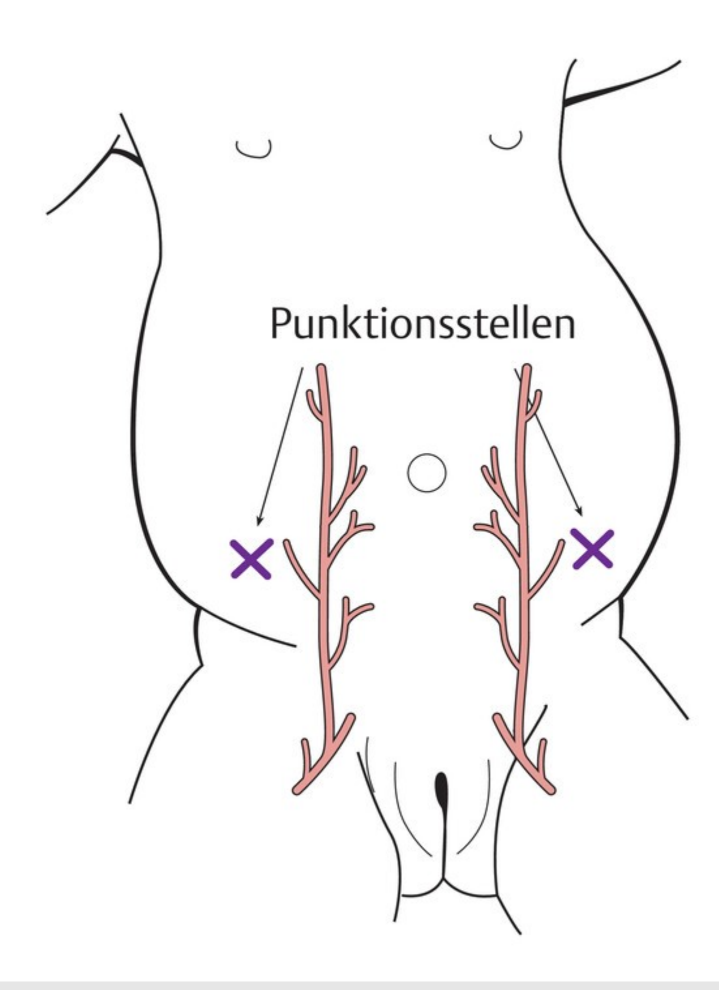


Abb. 34.1 Punktionsstellen für Aszitespunktion.

(verändert nach Quelle: Kerbl R, Kurz R, Roos R, Wessel L, Reiter K. Durchführung. In: Kerbl R, Kurz R, Roos R, Wessel L, Reiter K, Hrsg. Checkliste Pädiatrie. 5., vollständig aktualisierte Auflage. Stuttgart: Thieme; 2015)

(verändert nach Quelle: Kerbl R, Kurz R, Roos R, Wessel L, Reiter K. Durchführung. In: Kerbl R, Kurz R, Roos R, Wessel L, Reiter K, Hrsg. Checkliste Pädiatrie. 5., vollständig aktualisierte Auflage. Stuttgart: Thieme; 2015)

Durchführung

- Punktionsstellen: Abb. 34.1
- Lagerung:
  - Rückenlage
  - bei nachlassender Förderung ggf. Seitenlagerung in Richtung Punktionsstelle
- Monitoring (EKG, RR alle 3 Minuten, Pulsoxymetrie) prüfen/anlegen
- abdomineller Ultraschall, um Ausmaß/Lokalisation der Flüssigkeit und optimalen Punktionsort auszumachen
- Hautdesinfektion, Lokalanästhesie (mit z.B. Scandicain 2 % mit dünner Nadel)
- steril Abdecken, steriles Arbeiten mit Handschuhen/Maske/Haube/Kittel
- mit Punktionsnadel und aufgesetzter Spritze vorsichtig unter Aspiration eingehen (dabei Nadel nach Durchstechen der Haut vor Durchtritt durch Peritoneum ca. 1–2 cm versetzen,

um späteres Lecken der Punktionsstelle zu vermeiden)

- maximale Entnahmemenge: 15–20 ml/kg KG; Stopp bei Blutdruckabfall, evtl. rasche Volumengabe erforderlich
- nach Entnahme Nadel entfernen und mit sterilem Tupfer abdecken

Mögliche Komplikationen

- Bei sorgfältiger Durchführung (insbesondere unter Ultraschallkontrolle) sind Komplikationen selten.
- Hypotension bei zu vielem oder zu schnellem Abziehen von Flüssigkeit
    - Richtwert: nicht mehr als 5 % des Körpergewichts innerhalb von 30 Minuten, insgesamt 15–20 ml/kg KG
    - Ausnahme bei dringlicher Entlastung, z.B. Ventilationseinschränkung durch massiven Aszites
    - Maßnahme: Blutdruckstabilisierung (Volumen)
- Eiweißverlust (Hypoproteinämie) bei Punktion großer Mengen. Maßnahme: Humanalbumin i.v.
- Infektion (Peritonitis)
- Darmperforation bei zu tiefem oder fehlplatziertem Eingehen. Maßnahme: chirurgische Intervention
- Verletzung der Blase

> **Cave**
>
> Darmadhäsionen nach Vor-OPs (insbesondere Narbenregion meiden), Meteorismus, volle Blase, Lokalinfektion der Haut.

Postoperatives/postinterventionelles Management

- Nachbeobachtung und Untersuchung des Abdomens (ggf. stündlich Bauchumfang messen)
- regelmäßige Blutdruckmessungen postinterventionell für mind. 6 h
- Kontrolle innerhalb 24 h: BB, Elektrolyte, Albumin (bei Leberinsuffizienz), Harnstoff und Kreatinin

Ergebnisse

- Infektionsnachweis:
    - erhöhte Leukozytenzahl, Granulozytose spricht für bakterielle Infektion, Lymphozytose für viral oder mykobakteriell
    - Gram-Färbung, PCR, Kultur
    - an Pilzinfektion und atypische Mykobakterien sowie Tuberkulose je nach klinischer Situation denken
- Malignität: Zellausstrich/Zytologie
- Albumin Plasma/Aszites-Gradient: eine Differenz von > 1,1 g/dl spricht für portale Hypertension

Literatur

Literatur zur weiteren Vertiefung

- [1] Giefer MJ, Murray KF, Colletti RB. Pathophysiology, diagnosis, and management of pediatric ascites. J Pediatr Gastroenterol Nutr 2011; 52(5): 503–513

ZVD-Messung

Boris Barbarics, Karl Reiter

Steckbrief

Als zentralvenöser Druck (ZVD) wird der Blutdruck im Bereich der Mündung einer Hohlvene (V. cava superior oder inferior) in den rechten Vorhof bezeichnet. Er kann über einen dort positionierten zentralen Venenkatheter gemessen werden. Der ZVD korreliert mit der Vorlast des rechten Herzens und wird beeinflusst vom intravasalen Blutvolumen und der kardialen Funktion. Normalerweise liegt er zwischen 3 und 12 mmHg (4–16 cm H_2O), gemessene Werte sollten allerdings im Zusammenhang mit der klinischen Symptomatik interpretiert werden.

Aktuelles

Eine Volumentherapie ausschließlich über den ZVD zu steuern ist obsolet, da neben dem Volumenstatus insbesondere die kardiale Funktion den ZVD determiniert. Der ZVD und die zentrale Venenpulskurve können aber wichtige Informationen beisteuern.

Synonyme

- zentraler Venendruck
- zentralvenöser Druck
- Central venosus pressure measurement
- CVP measurement

Keywords

- zentraler Venendruck
- Volumenstatus
- Volumentherapie
- rechtsventrikuläre Vorlast
- Hämodynamik
- Volumentherapie
- Perikardtamponade

Definition

Die Messung des zentralvenösen Druckes entspricht dem Blutdruck im Bereich der Vena cava superior oder inferior am Übergang in den rechten Vorhof.

Einordnung der Methode im Vergleich zu weiteren Methoden

Der ZVD zeigt erhöhte Werte bei Rechtsherzversagen oder globaler Herzinsuffizienz, Perikardtamponade, pulmonaler Hypertonie oder ausgeprägter Hypervolämie. Die Analyse der verschiedenen Druckmaxima/-minima (A-, C-, X-, V- und Y-Welle) kann Rhythmusstörungen, Auffälligkeiten der Trikuspidalklappe oder erhöhten rechtsatrialen Druck zeigen.

Vorteilhaft kann der kontinuierliche Charakter der Messung sein. Ansonsten ist die Echokardiografie (und das EKG bei Rhythmusstörungen) bei diesen Fragestellungen deutlich überlegen.

Für die Beurteilung des intravasalen Volumenzustands müssen klinische Zeichen (z.B. Herzfrequenz, Blutdruck, Kapillarfüllungszeit, Lebergröße, Ödeme) und evtl. aufwendigere Messmethoden (z.B. Analyse der arteriellen Druckkurve) oder das Ansprechen auf Volumengabe herangezogen werden.

Indikationen

- hämodynamisches Monitoring in der Intensivtherapie (v.a. nach kardiochirurgischen Eingriffen) oder bei dekompensierten Herzfehlern (z.B. mit Rechtsherzinsuffizienz, Fontankreislauf)
- zur Diagnostik bei intrathorakalen Lymphabflussstörungen (können durch erhöhten ZVD bedingt sein)

Die alleinige ZVD-Messung stellt wegen nicht ausreichender Evidenz für Therapieentscheidungen

keine Indikation zum Anlegen eines ZVK dar.

Aufklärung und spezielle Risiken

Risiken, die einer vorhergehenden Aufklärung bedürfen, beziehen sich auf die erforderliche Anlage eines ZVK.

Personal, Material und Einstelltechnik

Die Messung erfolgt über liegenden ZVK.

Erforderlich sind ein entsprechendes Schlauchsystem mit Druckwandler zur elektronischen Messung. Sollte ein derartiges System nicht zur Verfügung stehen, kann intermittierend mittels Steigrohrprinzip ein ZVD bestimmt werden.

Anatomie

Zur Messung des ZVD sollte die ZVK-Spitze idealerweise am Übergang der V. cava superior oder inferior zum rechten Atrium, in der V. cava superior oder im oberen rechten Atrium mit ausreichendem Abstand zur Trikuspidalklappe platziert werden.

Durchführung

- Rückenlage, flache Lagerung
- Der ZVK sollte gut durchgängig sein und ein ausreichendes Lumen haben (Teilthrombosierung und dünnlumige, lange Katheter beeinträchtigen den Druckangleich).
- Schlauchsystem mit 0,9 % NaCl-Lösung füllen und mit Druckwandler verbinden; Steigrohrmethode alternativ, falls kein Druckwandler verfügbar
- auf Luftfreiheit im Schlauchsystem achten
- Kalibrierung des Empty-Element-Punktes über Dreiwegehahn (Spritze drucklos auf Herzhöhe ansetzen)
- Dreiwegehahn umlegen Richtung ZVK → Anzeige des zentralen Venendrucks (ZVD)

> **Cave**
> Über den ZVK laufende Infusionen führen zu einem erhöhten Messwert → zur Bestimmung des wahren ZVD-Wertes Infusionen kurzfristig unterbrechen.

Mögliche Komplikationen

Mögliche Fehlerquellen:

- falsche (nicht zentrale) Lage des Katheters/Wandkontakt
- Luft im Messsystem oder Kompression (abgeknickter Schlauch)
- Druckwandler auf falscher Höhe

Die Messung weist keine Risiken auf.

Ergebnisse

Der ZVD kann hohe Werte zeigen bei:

- Perikardtamponade
- Rechtsherzversagen oder biventrikulärer Insuffizienz
- pulmonaler Hypertonie
- Spannungspneumothorax, hohem PEEP
- Hypervolämie

Niedrige Werte können bei Hypovolämie auftreten, sind in der Regel jedoch wenig aussagekräftig und sollten nicht Therapieentscheidungen bedingen.

Die ZVD-Kurve weist 3 Druckmaxima und zwei Minima auf, Abb. 35.1.

- hohe A-Welle: z.B. Trikuspidalstenose, pulmonale Hypertonie

- hohe V-Welle: Trikuspidalinsuffizienz

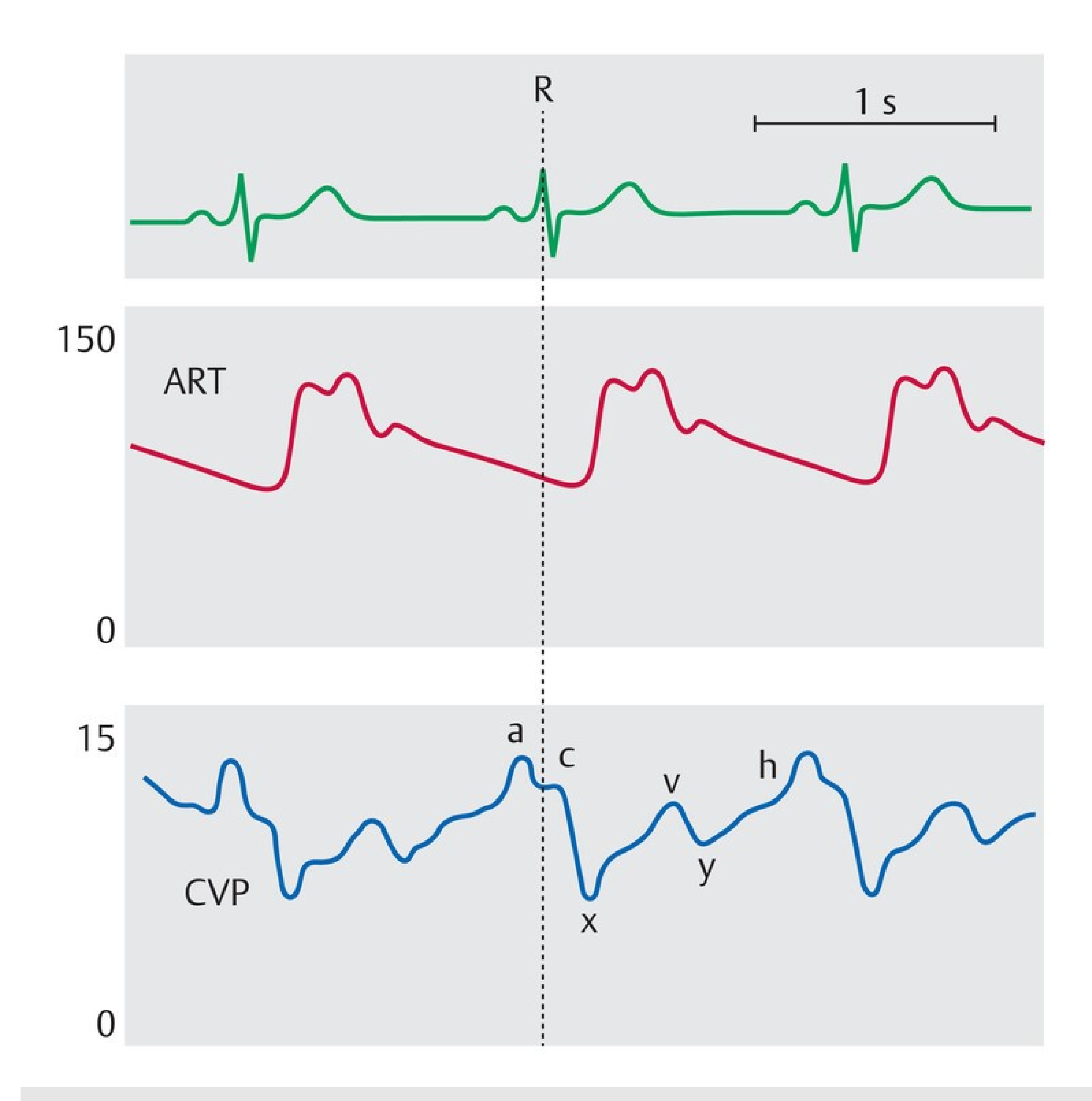


Abb. 35.1 Normale Druckkurve bei ZVD-Messung.

Literatur

Literatur zur weiteren Vertiefung

- [1] Lee EP, Wu HP, Chan OW et al. Hemodynamic monitoring and management of pediatric septic shock. Biomed J 2022; 45 (1): 63–73
- [2] Gan H, Cannesson M, Chandler JR et al. Predicting fluid responsiveness in children: a systematic review. Anesth Analg 2013; 117 (6): 1380–1392

Monitoring

Boris Barbarics, Karl Reiter

Steckbrief

Unter Monitoring versteht man die kontinuierliche Überwachung physiologischer und insbesondere vitaler Parameter. Es stehen dafür verschiedene Monitormodalitäten mit unterschiedlicher Organsystem-Spezifität zur Verfügung.

Die Art des Monitorings ist abhängig von der zugrunde liegenden Erkrankung und deren Schweregrad. Bei jedem Monitoring müssen sinnvolle Alarmgrenzen eingestellt werden – auch um Fehlalarme möglichst zu vermeiden, die mehr zu Verunsicherung oder Gewöhnung führen und die Effektivität des Monitorings in Frage stellen.

Das Standardmonitoring beim Intensivpatienten besteht in kontinuierlichem EKG, Pulsoxymetrie und Blutdruckmessung. Weitergehendes Monitoring ist v.a. im Bereich von Beatmung, Hämodynamik und Neuromonitoring verfügbar, wobei viele Methoden noch keine ausreichende Validierung erfahren haben.

Synonyme

Überwachung

Keywords

- Atem-Monitoring

- Herz-Atem-Monitoring
- EKG
- Pulsoxymetrie
- ZVD
- arterielle Blutdruckmessung
- $ETCO_2$ (endexspiratorische CO_2-Messung) = Kapnografie
- EEG
- aEEG (amplitudenintegriertes EEG)
- CFM (cerebrales Funktionsmonitoring)
- cEEG (continuous EEG)
- NIRS (Nah-Infrarot-Spektroskopie)
- Hirndruckmessung
- hämodynamisches Monitoring
- Neuromonitoring

Definition

Unter Monitoring versteht man die kontinuierliche Überwachung physiologischer Parameter, insbesondere von Vitalparametern.

Einordnung der Methode im Vergleich zu weiteren Methoden

Im Weiteren werden im Überblick die wichtigsten gerätetechnischen Monitoringmodalitäten besprochen, die in der aktuellen Praxis der pädiatrischen Intensivmedizin angewendet werden. Ein erheblicher Anteil ist hinsichtlich anzustrebender Werte nicht validiert und bedarf einer individuellen Abwägung in Anwendung und Zielen. Ein multimodales Monitoring, d.h. die Verwendung und Interpretation mehrerer verfügbarer Modalitäten in Zusammenschau mit der klinischen Problematik ist einzelnen Methoden klar überlegen.

Indikationen

- obligat bei jedem Intensivpatienten: kontinuierliches EKG und Pulsoxymetrie, Blutdruckmonitoring
- weitergehendes Monitoring je nach zugrundeliegender Erkrankung und Situation des Patienten

Aufklärung und spezielle Risiken

- Nichtinvasives Standardmonitoring wie EKG, Pulsoxymetrie und nichtinvasive Blutdruckmessung sind obligat, bedürfen keiner spezifischen Aufklärung und sind nahezu risikofrei. Über weitergehendes, insbesondere invasives Monitoring sollte aufgeklärt werden, Risiken sind methoden- und erfahrungsabhängig.

Personal, Material und Einstelltechnik

Die für die jeweilige Monitormethode erforderliche Ausstattung ist äußerst unterschiedlich und der Beschreibung der Methode zu entnehmen.

Durchführung

Übersicht Tab. 36.1.

Tab. 36.1 Übersicht des Monitorings.

Monitoring	Technik	Vorteil	Nachteil
EEG: Elektroenzephalografie; EKG: Elektrokardiografie; HZV; Herzzeitvolumen; PiCCO: Pulse Con Cardiac Output; USCOM: Ultrasonic Cardiac Output Monitor; ZVK: zentraler Venenkatheter.			

Monitoring	Technik	Vorteil	Nachteil
Atem-Monitoring	Thorax-Atemgürtel, Impedanz-Pneumografie, (Atembewegungen werden registriert)	• einfache Handhabung • meist verlässliche Detektion zentraler Apnoe	nur Informationen über Atembewegungen, keine Er obstruktiver Apnoen
Herz-Atem-Monitoring	zusätzlich zum Atem-Monitoring Erfassung von Herzfrequenz bzw. EKG	zusätzliche Erkennung von Brady- oder Tachykardien	• zusätzliche Elektroc • erhöhte Rate an Feh
Herz-Atem-SaO_2-Monitoring	zusätzlich zum Herz-Atem-Monitoring Registrierung der SaO_2	zusätzliche Erkennung von Hypoxämien	• zusätzlicher Sensor • zusätzliche möglich Fehlerquellen
„Event-Monitoring“ zur nachträglichen Auswertung von Atmung und EKG	Speicherung der Daten vor, während und nach einem Alarm	nachträgliche EDV-gestützte Auswertung möglich	
EKG	Ableitung meist über 3 Brustwand-Elektroden	Erkennung von Herzrhythmusstörungen	
Pulsoxymetrie	spektrophotometrische Bestimmung von oxygeniertem und reduziertem Hämoglobin durch Rotlichtquelle und gegenüberliegenden Sensor	Erkennung von Hypoxämien, gleichzeitig Angabe der Herzfrequenz	• Störung durch Licht (→ Sensor gut abde • Artefakte bei Beweg oder reduziertem B • schlechte Erfassung hyperoxischer Zustä
ZVD, zentraler Venendruck	elektronischer Druckwandler, Messung über ZVK	kontinuierliche ZVD-Bestimmung	invasiv (ZVK nötig), unzuve zur Bestimmung des Volum
arterielle Blutdruckmessung (kontinuierlich)	elektronischer Druckwandler	kontinuierliche Blutdruckmessung, Goldstandard der RR-Messung	invasiv (arterielle Kanüle nö Ischämiegefahr distal
transkutane Blutgasanalyse	• meist kombinierter Sensor für pO_2 und pCO_2 • durch Aufheizen der Elektrode auf 42–44 °C Hyperämisierung der Haut → Diffusion der Blutgase zur Elektrode	• nichtinvasive kontinuierliche Bestimmung der Blutgase (pO_2, pCO_2) • Erkennung von Hypoxie, Hyperoxie (bei O_2-Gabe), Hyperkapnie, Hypokapnie	• Sensor muss alle 3 h platziert werden (**ca** Verbrennung insbes bei Frühgeborenen Säuglingen) • 2-Punkt-Kalibrierun Kalibrationsgasen erforderlich • nicht sehr zuverläss älteren Kindern und reduzierter Perfusio Schock)
$ETCO_2$ (endexspiratorische CO_2-Messung) = Kapnografie	• sowohl beim spontan atmenden als auch beim beatmeten Kind möglich • mit einer konstanten Flussrate wird Gas aus dem Atmungssystem abgesaugt und dem Analysegerät zugeführt (Nebenstromtechnik) oder direkte Messung im Exspirationsschlauch (Hauptstromtechnik)	• kontinuierliche Messung • korreliert weitgehend mit $paCO_2$ bei lungengesunden Kindern • keine mehrmalige Kalibrierung nötig	• Schlauchsystem anf Kondenswasser • Werte verfälscht be Tachypnoe (zu nied bestimmten Beatmungsformen Ventilations-/Perfus Mismatch • perfusionsabhängig • bei Früh- und Neuge ungenau, da relativ Totraumventilation Vergleich zu alveolä Ventilation
Temperatur	Thermistoren (über Blasenkatheter, rektale oder ösophageale Temperaturmessung)	zuverlässiger und relevanter als nichtinvasive Messungen	

EEG: Elektroenzephalografie; EKG: Elektrokardiografie; HZV; Herzzeitvolumen; PiCCO: Pulse Con Cardiac Output; USCOM: Ultrasonic Cardiac Output Monitor; ZVK: zentraler Venenkatheter.

Monitoring	Technik	Vorteil	Nachteil
aEEG (amplitudenintegriertes EEG) CFM (zerebrales Funktionsmonitoring) cEEG (continuous EEG)	- halblogarithmische EEG-Mustererkennung, Ableitung über 3–4 Elektroden - cEEG: erhöhte Anzahl von Ableitungen, alle Großhirnregionen einbezogen	- zur Prognoseabschätzung bei FG/NG mit Asphyxie - aEEG: einfache Erkennung wichtiger EEG-Veränderungen wie Krampfanfälle (nicht selten nichtkonvulsiv!), Burst-Suppression - cEEG: höhere Sensitivität und Spezifität als aEEG	CFM/cEEG: hoher Aufwand Experten-Interpretation erf
NIRS (Nah-Infrarot-Spektroskopie)	Blutvolumen und Sauerstoffgehalt schädelnaher ZNS-Kompartimente (arteriell, venös, Parenchym) werden mittels Lichtquelle und Sensorelektrode nichtinvasiv gemessen (Eindringtiefe etwa bis zu 4 cm)	- Monitoring der zerebralen Sauerstoffversorgung - Abschätzung der zerebralen Autoregulation möglich (Korrelation NIRS – RR)	- keine Differenzierui Kompartimente - keine ausreichend definierten Zielwert - keine ausreichende Validierung der Autoregulationsbes
intrakranielle Druckmessung	elektronischer Drucksensor	- direkte Hirndruckmessung - bei intraventrikulärem Katheter Liquorablassung möglich - intraparenchymatös: kontinuierliche pO_2- und metabolisches Monitoring möglich	- invasiv - Messung auf Platzierungslokalisa beschränkt - Blutungs- und Infektionskomplika - Seitenventrikel häu schmal für intraven Platzierung - fehleranfällig z.B. b regelmäßiger oder Kalibrierung (epidu Mess-Drift, Einblutu
Herzzeitvolumenmessung	verschiedene Techniken (Auswahl): - Messung über Flow-Sensor und Berechnung über entsprechenden Gefäßdurchmesser: USCOM, ösophagealer Flow-Sensor - Messung über Fick-Prinzip: Pulmonaliskatheter, PiCCO - Berechnungsalgorithmus über arterielle Druckkurve: z.B. PiCCO	- kontinuierliche Herzzeitvolumenmessung, sensitiver als Herzfrequenz und RR - Parameter des Ansprechens auf Volumengabe	zeigt nicht die Adäquatheit diese besser über Blutlakta zentralvenöse Sättigung un periphere Kapillarfüllungsz

EEG: Elektroenzephalografie; EKG: Elektrokardiografie; HZV; Herzzeitvolumen; PiCCO: Pulse Con Cardiac Output; USCOM: Ultrasonic Cardiac Output Monitor; ZVK: zentraler Venenkatheter.

Mögliche Komplikationen

- Komplikationen sind bei nichtinvasiven Monitoringverfahren äußerst selten, dennoch zu beachten, z.B. allergische Reaktionen auf Elektrodenmaterial oder Pflaster, Verbrennungen bei transkutaner Blutgasanalyse.
- Invasive Methoden zeigen ein breites Komplikationsspektrum, das sich jedoch je nach Methode unterscheidet, z.B. Blutung, Ischämie, Organverletzung, Infektion bei allen eingeführten Kathetern.

Enterale Sonden

Karl Reiter, Boris Barbarics

Steckbrief

Enterale Sonden gewährleisten einen kontinuierlichen Zugang zum Gastrointestinaltrakt, der verschiedenen Zwecken dienen kann. Das beinhaltet die Möglichkeit der enteralen Ernährung und Medikamentengabe, der Entlastung des Gastrointestinaltrakts (Ablaufsonde) oder eine Schienung, z.B. des Ösophagus nach Operation oder Verletzung. Je nach Dauer und Anwendungsgebiet werden verschiedene enterale Sonden eingesetzt. Man unterscheidet nasogastrale Sonden von perkutanen Sonden.

Synonyme

- nasogastrale Ernährungssonde
- Magensonde
- PEG
- Gastrostoma

Keywords

- Magensonde
- Duodenalsonde
- Jejunalsonde
- perkutane Ernährungssonde
- PEG

Definition

Enterale Sonden werden zur Ernährung, Gabe von Medikamenten, Ableitung von Flüssigkeiten aus dem Gastrointestinaltrakt oder zur Schienung verwendet. Nasogastrale oder orogastrale Sonden werden blind nach vorheriger Abmessung der Einführtiefe vorgeschoben mit anschließender klinischer Lagekontrolle. Nasoduodenale oder nasojejunale Sonden müssen in der Regel mithilfe einer Röntgendurchleuchtung oder endoskopisch gelegt werden, da die Passage des Pylorus selten blind gelingt. PEG-Sonden werden endoskopisch gelegt. Die Auswahl von Größe und Material der Sonde hängt vom Alter des Kindes und der Indikation ab.

Einordnung der Methode im Vergleich zu weiteren Methoden

Bei nicht ausreichender oraler Zufuhr ist die Anwendung einer enteralen Sonde angezeigt, die je nach Pathologie gastral oder jejunal platziert werden kann und einer ausschließlich parenteralen Ernährung klar überlegen ist. Weitere Indikationen zur Platzierung einer enteralen Sonde (z.B. zur Magenentlastung bei Ileus und andere, s.u.) sind in der Regel alternativlos.

Je nach Dauer und Indikation werden unterschiedliche Sonden verwendet.

- einmalige Sondierung
- kurzzeitige Sondierung
- Langzeit-Sonden

Sondenmaterial

- PVC-Sonden:
  - für kurze Verweildauer, maximal einige Tage! Danach Verhärtung durch Verlust des Weichmachers → Gefahr der Ulzeration oder Perforation!
  - **Cave** lokale Weichmachertoxizität
- PUR-Sonden (Polyurethan):
  - bleiben lange Zeit weich → für Langzeitsondierung gut geeignet
  - Nachteil: Sondenlegung durch Weichheit erschwert (oft Aufrollen im Mund-Rachenbereich) → für Sondenlegung Mandrindraht verwenden!
- Silikon-Kautschuk-Sonden: wie PUR-Sonden

Sondentypen

- nasogastral: häufigster Typ, einfache Platzierung
- orogastral: häufiger Probleme mit Dislokation oder wegen ausgelöstem Würgereiz
- nasoduodenal/-jejunal: bei Magenentleerungsstörung, hochgradigem gastroösophagealem Reflux; Kontrolle der richtigen Positionierung durch Ultraschall oder radiologisch
- perkutane endoskopische Gastrostomie (PEG-Sonde): Sonde wird endoskopisch gelegt, insbesondere für Langzeitsondierung bei neurologischer Behinderung und/oder Schluckstörung; verschiedene Techniken verfügbar (Platten-PEG vs Direktpunktion), einlumig gastral oder zweilumig mit gastralem und jejunalem Schenkel

Indikationen

- enterale Ernährung
- Gewinnung von Magensekret/Duodenalsekret aus diagnostischen Gründen
- Entleerung des Magens (z.B. für dringliche Narkosen, allerdings keine verlässliche völlige Entleerung)
- Ablaufsonde zur Entlastung bei Passagestörung (Ileus, Obstruktion)
- akute enterogastrale Rehydrierung (z.B. Gastroenteritis mit Trinkverweigerung)
- längerfristige Sondenernährung (z.B. bei Schluckstörungen, unzureichende Nahrungsaufnahme); frühzeitig PEG erwägen
- Schienung des Ösophagus nach z.B. Verätzung, post-Atresie-OP
- nasojejunale Sonde: bei nicht ausreichend möglicher Ernährung über Magensonde (z.B. Gastroparese) oder hochgradigem gastroösophagealem Reflux

Kontraindikationen

- kein blindes Einführen nach ösophagealen Verletzungen oder OP
- keine blinde nasogastrale Platzierung bei Schädelbasisfraktur, möglicher Enzephalozele, in den ersten Tagen nach Operationen im Nasengangsbereich (z.B. Adenotomie, Gaumenspaltenverschluss), Mittelgesichtsfraktur
- keine blinde nasogastrale Platzierung bei schwerer Thrombozytopenie/-pathie oder Gerinnungsstörung

> **Cave**
>
> Bei Leberzirrhose/-fibrose oder anderweitigem V.a. Ösophagusvarizen: Experten zuziehen!

Aufklärung und spezielle Risiken

- Schleimhautverletzung, Blutung
- Fehllage im Atemwegssystem, auch sekundär durch Dislokation
- Aspiration von Nahrung bei Fehllage
- Begünstigung eines gastroösophagealen Refluxes
- PEG: spezifische operative Risiken (u.a. Kolonperforation, Peritonitis), Magenwandnekrose, Dehiszenz mit Infektionsrisiko

Anästhesie

Bei wachen Kindern evtl. nasale Lokalanästhesie.

Personal, Material und Einstelltechnik

In der Regel durch eine qualifizierte Pflegeperson oder auch gut angelernte Eltern durchführbar (nasogastral).

Material: Sonde, Gleitmittel, Pflaster, Handschuhe, luftgefüllte Spritze, Stethoskop, evtl. pH-Papier.

Durchführung

- Anästhesie des Nasen-Rachenraums mit Xylocain-Gel oder -Spray.

Vorgehen bei nasogastraler Sondenlegung

- Abmessen der richtigen Sondenlänge für nasogastrale Sonde: (Nase–Ohr) + (Nase–Epigastrium); Markierung der Sonde mit Pflaster oder Filzstift
- PUR-Sonden mit Mandrindraht versteifen (auch Mandrindraht mit Gleitmittel bestreichen/besprühen!)
- Sonde mit Gleitmittel bestreichen bzw. besprühen
- Einführen der Sonde durch engeres Nasenloch am Boden der Nase entlang (90° zum Gesicht)
  - erster möglicher Widerstand: Übergang Nase – Rachenhinterwand
  - zweiter möglicher Widerstand: pharyngeale Engstelle auf Höhe des Kehlkopfeingangs
- bei kooperierenden Patienten zum Schlucken auffordern, evtl. mit einem Schluck Wasser; ruhig atmen!
- weiteres Vorschieben der Sonde
  - dritter möglicher Widerstand: Mageneingang
- Aspiration mit Spritze, Kontrolle des pH-Wertes mit pH-Papier, falls keine Magensäurehemmung vorliegt (alternativ Insufflation von 10 ml Luft und Auskultation im Epigastrium bzw. bei entsprechender Erfahrung Lagekontrolle mit Ultraschall oder radiologisch)

Besonderheiten bei nasojejunaler Sonde

- Selten ohne Endoskopie oder radiologische Technik (Durchleuchtung) erfolgreich.
- Die Gabe von Metoclopramid ist nicht empfohlen [1].

> **Praxistipp**
>
> - Husten und Luftnot deuten auf Fehllage hin! Entfernen, neuer Versuch
> - Sonde nie gewaltsam legen! Evtl. anderes Nasenloch versuchen, Position des Kopfes ändern, ruhig atmen und schlucken lassen
> - Kontrolle der Sondenlage vor jeder Sondierung!
> - nach Applikation von pürierter Nahrung und dickflüssigen Medikamenten Sonde immer mit Wasser spülen, um Obstruktion zu verhindern

Postoperatives/postinterventionelles Management

PEG-Pflege (Platten-PEG)

> **Cave**
>
> Es sind verschiedene Techniken perkutaner (gastraler oder gastrojejunaler) Langzeitsondenplatzierung verfügbar, die ein unterschiedliches Management erfordern, daher wichtig: Hersteller-Empfehlungen beachten!

- antibiotische Prophylaxe, lokale Pflege und Beginn der Ernährung werden lokal sehr unterschiedlich gehandhabt, keine klar evidenzbasierten Empfehlungen; meist werden 1 bis 2 Gaben eines i.v. Antibiotikums verabreicht
- Halteplatte mit 1–2 mm Spielraum fixieren
- bei trockener reizloser PEG-Eintrittsstelle keine Kompressen oder Verbände
- evtl. lokale Desinfektion für 3 Tage mit z.B. Polihexanid-haltigem Desinfektionsmittel wie Lavasept oder Prontosan
- bei guter Abheilung: Reinigung mit NaCl 0,9 %

> **Merke**
>
> Nach 7–10 Tagen Mobilisierung der PEG mind. 2×/Woche (vorsichtiges Hereinschieben und Herausziehen, etwas drehen), um ein permanentes Einwachsen der PEG-Halteplatte zu verhindern. **Cave:** Die Vorgaben sind unterschiedlich je nach PEG-Typ!

- kurzes Duschen nach 1 Woche
- Baden erst nach 3 Wochen

Mögliche Komplikationen

- Fehlplatzierung im Luftweg
- Blutung
- Perforation
- Obstruktion durch Medikamentengabe (z.B. Omeprazol): Versuch des Freispülens mit Wasser, Na-Bikarbonat, Cola

Literatur

Quellenangaben

- [1] Broekaert IJ, Falconer J, Bronsky J et al. The Use of Jejunal Tube Feeding in Children: A Position Paper by the Gastroenterology and Nutrition Committees of the European Society for Paediatric Gastroenterology, Hepatology, and Nutrition 2019. J Pediatr Gastroenterol Nutr 2019; 69 (2): 239–258

Literatur zur weiteren Vertiefung

- [1] Anderson L. Enteral feeding tubes: an overview of nursing care. Br J Nurs 2019; 28 (12): 748–754

Quelle:

Tacke M, Hoffmann F, Barbarics B, Reiter K. Methoden in der Kinderintensiv- und Notfallmedizin. In: Kerbl R, Reiter K, Wessel L, Hrsg. Referenz Pädiatrie. Version 1.0. Stuttgart: Thieme; 2024.

Shortlink: https://eref.thieme.de/11765ZKV